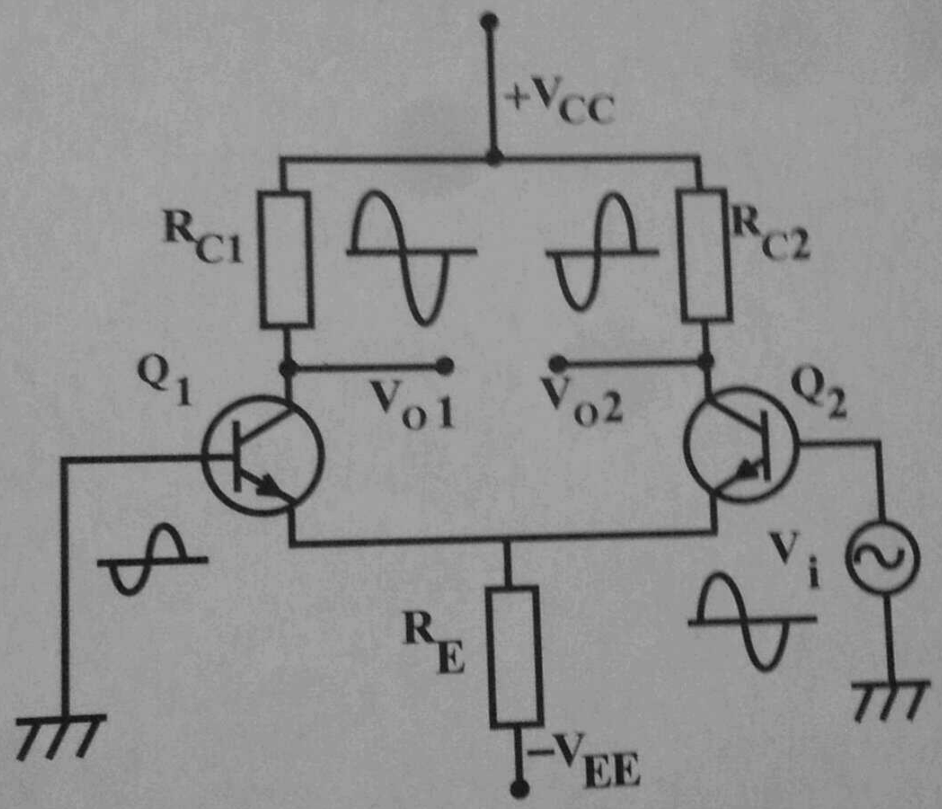
الدوائر الإلكترونية

Electronic Circuits

تحليلها وطرق التعامل معها



د. ذيب محمد اسماعيل غنيم

المحتويات

الصفحة

الباب الأول

الصمام الثنائى البلوري

(Semiconductor Diode)

الباب الأول

الصمام الثنائى البلورى

(Semiconductor Diode)

١-١) تصنيف المواد :

إحدى الطرق التي يمكن على اساسها تصنيف المواد هي قدرتها على توصيل الحرارة والتيار الكهربائي وعلى هذا فإن المواد يمكن تصنيفها إلى ثلاث مجموعات :-

أ) مواد موصلة (جيدة التوصيل) : (Conductors)

مثل النحاس (Cu) ، الألومنيوم (Al^{III})، الزرنيخ (As^{V}) ، الانديوم (In^{III}).

ب) مواد شبه موصلة (Semiconductors)

مثل الجرمانيوم (Ge^{IV}) ، السيليكون (Si^{IV}) ، وباقي عناصر المجموعة الرابعة في الجدول الدورى للعناصر .

جـ) مواد عازلة (Insulators) :

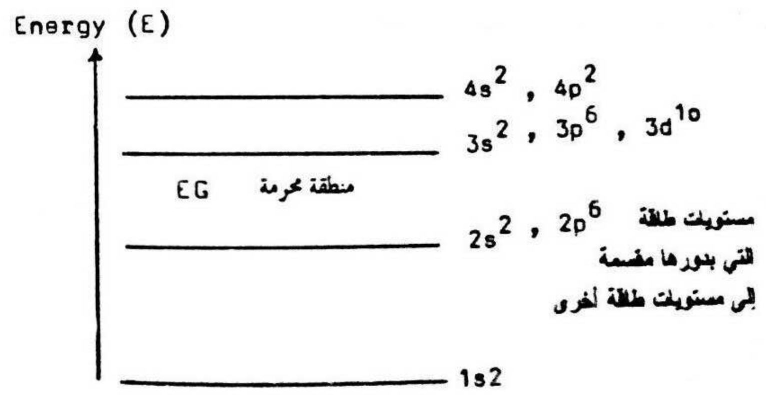
مثل المجموعة الثامنة من الجدول الدورى للعناصر ، الخشب ، البلاستيك ، والزجاج ، والهواء .

لقد تعامل الطالب كثيرا مع المواد الموصلة والمواد العازلة ولكنه لم يتعامل حتى الآن كثيرا مع المواد شبه موصلة . عناصر المجموعة الرابعة من الجدول الدورى للعناصر ومنها الجرمانيوم (Ge) والسيليكون (Si) عناصر شبه موصلة وذلك لان قدرتها على التوصيل الكهربى تقع بين العناصر جيدة التوصيل (الموصلات) والعناصر رديئة التوصيل (العوازل) وذلك فى درجة حرارة الغرفة . فيما يلى سنقوم بتفسير وتعليل هذه الظواهر. طبقا لنظرية بور (بوهير) ومبدأ بولي ، فان الالكترونات تكون موزعة حول نواة كل من ذرة السيليكون والجرمانيوم فى مستويات للطاقة (Energy Levels) كما يلى :

$$Si^{14} = 1s^2 - 2s^2, 2p^6 - 3s^2, 3p^2$$

$$Ge^{32} = 1s^2 - 2s^2, 2p^6 - 3s^2, 3p^6, 3d^{10} - 4s^2, 4p^2$$

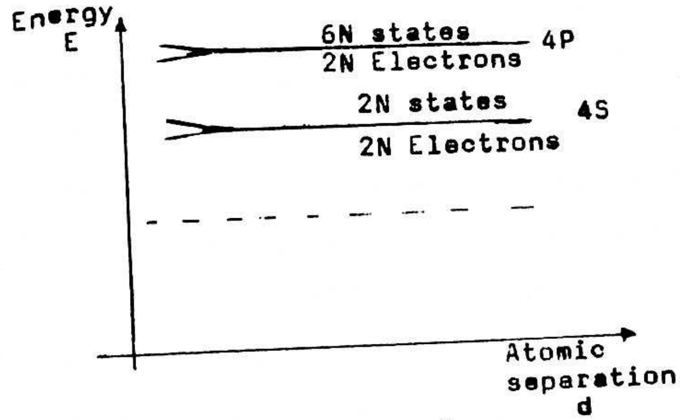
شكل (1-1) يبين توزيع الإلكترونات فى المستويات الطاقوية لذرة الجرمانيوم



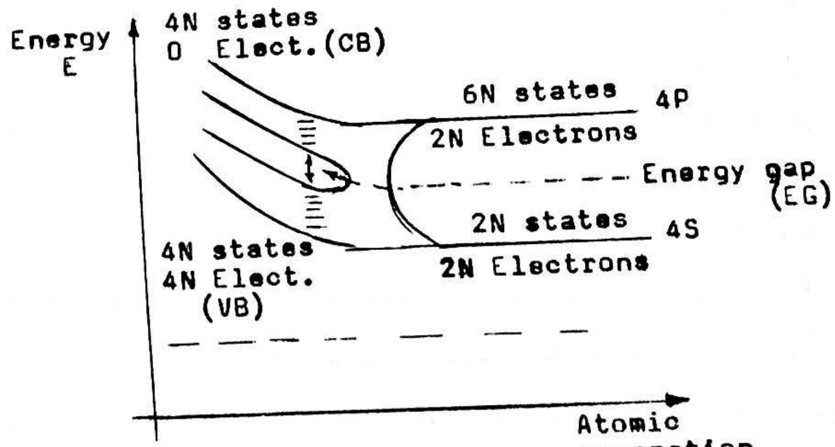
شكل (1-1)

شكل توضيحى تقريبى للمستويات الطاقوية التى تتواجد بها الالكترونات لذرة الجرمانيوم

الشكل السابق صالح لذرات الجرمانيوم عندما تكون فرادى أو بعيدة عن بعضها البعض ولكن هذا الشكل سوف يتغير عندما تقترب ذرات الجرمانيوم من بعضها البعض لتكوّن عنصر الجرمانيوم والسبب لان ذرات الجرمانيوم تؤثر على بعضها البعض بالطريقة الآتية : بناء على ما سبق فان المستويات الطاقية الاخيرة من كل ذرة من ذرات الجرمانيوم او السيليكون تحتوى على اربعة الكترونات ففى حالة السيليكون $(3s^2, 3p^2)$ وفى حالة الجرمانيوم $(4s^2, 4p^2)$ ولكن يوجد لهذه الالكترونات الاربعة ثمانية مستويات طاقية وطبقا لمبدأ بولي فأن الاربعة الكترونات هذه احتلت المستويات الطاقية الاربعة الدنيا (السفلى) وهى $(4s^2, 4p^2)$ فى حالة الجرمانيوم وعند اقتراب ذرات الجرمانيوم من بعضها البعض ثبت ان المستويات الطاقية الاخيرة فى كل ذرة وهى $(4s^2, 4p^2)$ ستؤثر على بعضها البعض ولنفرض ان لدنيا (N) ذرة جرمانيوم فانه يصبح لدينا الآن 4N إلكترون فى المستوى الطاقى رقم (4) ويجب علينا الآن ألا نتكلم عن المستويات الطاقوية $(4s, 4p)$ منفصلة بل أنها الآن قد اندمجت مع بعضها البعض وكونت ثمانية مستويات طاقية وطبقا لمبدأ بولي فأن 4N الكترون ستحتل الاربع مستويات الطاقية السفلى مكونة بذلك شريط طاقى او شريط تكافؤي (Valance Band (VB)) فى حين ان الاربعة مستويات الطاقية الاخرى غير المحتلة بالكترونات ستكون ما يسمى بالشريط الموصل (Conduction Band (CB)) انظر الشكل التوضيحى رقم (1-2) . المنطقة المحرمة فى شكل (1-2ب) تكون كبيرة فى حالة المواد غير الموصلة وصغيرة جدا أو معدومة فى حالة المواد الموصلة وتكون متوسطة فى حالة المواد شبه الموصلة كما هو مبين فى شكل (1-3) .

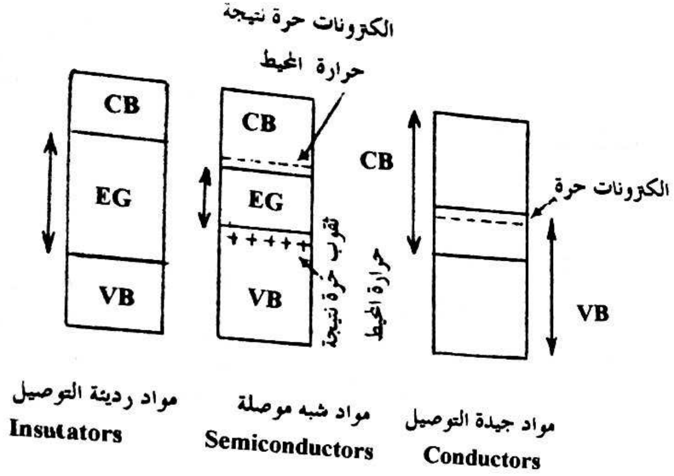


شكل (1-2أ)



شكل (1-2 ب)

شكل (1-2) المسافة بين ذرات العنصر فى (أ) اكبرمنها فى (ب) لهذا فإن تأثير الذرات على بعضها البعض اكبر فى (ب) منه في (أ) .

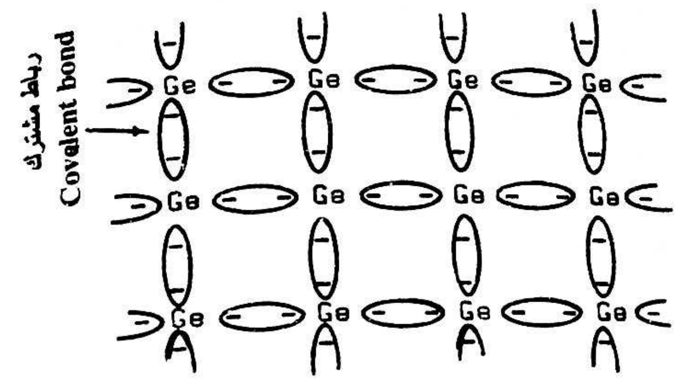


شكل (1-3)

المنطقة المحرمة كبيرة فى حالة العناصر غير الموصلة ومعدومة فى حالة العناصر الجيدة التوصيل ومتوسطة فى حالة اشباه الموصلات.

1-2) تكوين بُنية المواد شبه الموصلة النقية :

كما ذكرنا ان المواد شبه الموصلة موجودة فى المجموعة الرابعة فى الجدول الدورى للعناصر وعلى هذا فإن عدد الإلكترونات الموجودة فى المستوى الطاقى الخارجى لهذه الذرات هو أربعة الكترونات ولذا فعند تكوين هذه الذرات لتلك العناصر وطبقا لنظرية الروابط المشتركة تقوم ببناء اربع روابط كما هو مبين فى شكل (1 - 4) لعنصر الجرمانيوم عندما يكون فى درجة حرارة منخفضة . أما فى حالة تواجد هذا البناء البلورى للعنصر فى درجة حرارة الغرفة فإن بعض الإلكترونات المساهمة فى الروابط المشتركة بين الذرات تكتسب طاقة حرارة تمكنها



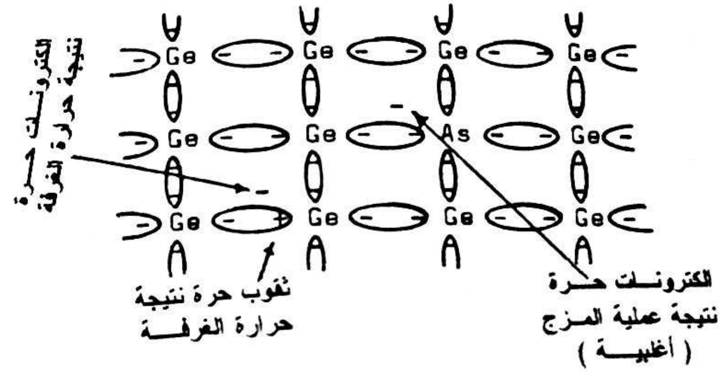
شكل (1- 4)
عنصر الجرمانيوم النقى فى درجة حرارة منخفضة

من التحرر من هذه الروابط وتصبح حره وكنتيجة مباشرة لتحرر تلك الإلكترونات سيتكون عندنا ما يسمى بالثقوب . والمقصود بالثقب هو مكان فى الرابطة المشتركة أو فى شريط الطاقى المكافىء الخالى من الإلكترون . يعامل الثقب كجسم له نفس مقدار شحنة الالكترون ولكن موجبة . يمكن لهذا الثقب أن يملأ بانتقال أحد الالكترونات المجاورة إليه وهكذا ينشأ ثقب آخر اى أنها حره الحركة فى مادة شبه الموصل النقى.عند درجة حرارة الغرفة سيتواجد إلكترونات حرة وكذلك ثقوب حره ويكون فى هذه الحالة عدد الإلكترونات الحره مساوى تماما لعدد الثقوب .

ماذا سيحدث عند مزجنا مادة شبه موصله نقية بمادة أخرى مثل الزرنيخ As^{V} أو الأنديوم (In^{III}) ؟ :

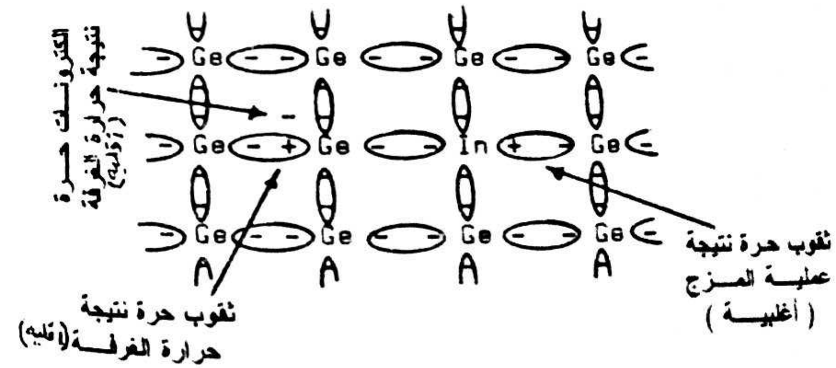
عملية المزج تعنى ان نضع بعض ذرات العنصر الغريب مكان ذرات المادة شبه الموصلة . فى حالة مزج ذرات عنصر الزرنيخ مع ذرات عنصر الجرمانيوم نحصل على مادة موصلة للتيار بعد أن كان الجرمانيوم شبه موصل والسبب فى ذلك ان عنصر الزرنيخ موجود فى المجموعة الخامسة فى الجدول الدورى أى ان المستوى الطاقى الخارجى لذراته تحتوى على خمسة إلكترونات أما الجرمانيوم فيحتوى المستوى الطاقى الخارجى لذراته على أربعة إلكترونات فقط وعلى هذا عندما تحل ذرة الزرنيخ مكان ذرة الجرمانيوم فى عنصر الجرمانيوم تكون ذرات الجرمانيوم أربع روابط مع ذرة الزرنيخ وعلى هذا يبقى إلكترون واحد بدون رباط فى ذرة الزرنيخ والذى يكون بالتالى حراً ويسمى عنصر الزرنيخ معطى (Donar) والطاقة اللازمة لابعاد هذا الإلكترون من مكانه فى الشريط الطاقى تساوى 0.01 eV فى حالة الجرمانيوم ، 0.05 eV فى حالة السليكون وبالتالى تصبح هذه المادة موصلة للكهرباء . وحيث أن عدد الإلكترونات الحرة زاد فيها عن عدد الثقوب المتكونة بفعل درجة حرارة الغرفة لهذا سميت المادة بمادة شبه موصله ذو نوعية سالبة (N-type Semiconductor) أما إذا قمنا بمزج مادة الجرمانيوم بمادة الأنديوم (In^{III}) والموجودة فى المجموعة الثالثة فى الجدول الدورى اى أن مستواها الطاقى الخارجى يحتوى فقط على ثلاثة إلكترونات والتى تكون مع ذرات الجرمانيوم ثلاث روابط فقط اما الرباط الرابع فيبقى ناقصاً إلكتروناً واحداً أى أن هناك ثقب (hole) موجود فى الرباط الرابع والنتيجة أن هذه المادة تصبح موصلة نتيجة زيادة عدد الثقوب فيها . يلاحظ هنا ان

عدد الثقوب تفوق عدد الإلكترونات الحرة الناتجة بفعل زيادة درجة حرارة الغرفة وبالتالى تسمى مادة شبه موصل (P-Type Semicondncor) ذات نوعية موجبة، ويسمى عنصر الانديوم بالمستقبل (المستعير) (Acceptor) لإنه قادر على استقبال إلكترون حر ليملأ الثقب . شكل (1–5) يبين بطريقة توضيحية مادة شبه موصله ذات نوعية سالبة (N-type) وشكل (1–6) يبين مادة شبه موصله ذات نوعية موجبة (P-type) .



شكل (1–5)

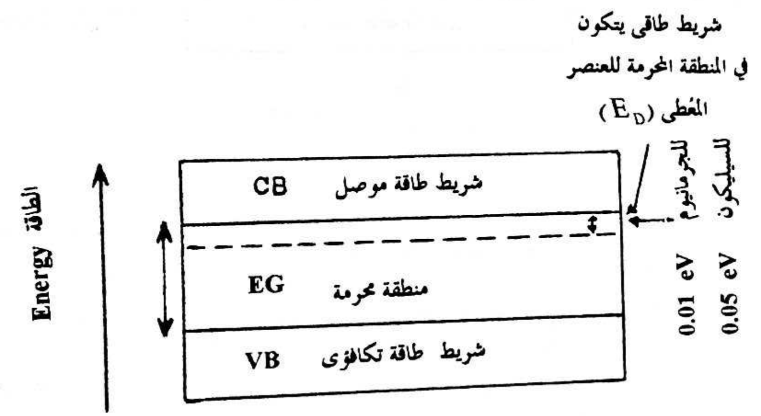
رسم توضيحى لمادة ذات نوعية سالبة (N-type)



شكل (1–6)

رسم توضيحى لمادة ذات نوعية موجبة (P-type)

فى حالة إضافة مادة مُعطية مثل الزرنيخ إلى المادة شبه الموصلة مثل الجرمانيوم فإن هناك شريط طاقى جديد (E_D) سينشأ فى المنطقة المحرمة وقريبا من الشريط الطاقى الموصل (CB) وتصبح هناك منطقة محرمة (EG) بين الشريط الطاقى الجديد والشريط الطاقى الموصل ومقدار الطاقة اللازمه لنقل الالكترون عبر هذه المنطقة المحرمة وهو كما ذكرنا آنفا 0.01 ev فى حالة الجرمانيوم 0.05 ev فى حالة السيليكون كما هو مبين فى شكل (1–7) .

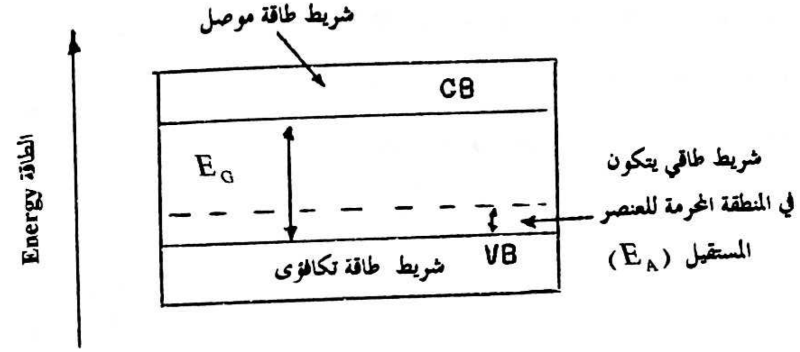


شكل (1–7)

رسم توضيحى لأشرطة الطاقة لمادة ذات نوعية سالبة

فى حالة إضافة مادة مستقبلة (مستعيرة) مثل الانديوم إلى مادة شبه موصله مثل الجرمانيوم فإن هناك شريط طاقى جديد E_A ينشأ فى المنطقة المحرمة وقريبا من الشريط الطاقى المكافىء VB وتصبح هناك منطقة محرمة بين الشريط الطاقى الجديد

والشريط الطاقى المكافىء ومقدار الطاقة اللازمة لنقل الإلكترون من الشريط الطاقى المكافىء إلى الشريط الطاقى الجديد E_A هى 0.01 eV فى حالة الجرمانيوم و 0.05 eV فى حالة السيليكون كما هو مبين فى شكل (1-8) .



شكل (1-8)

رسم توضيحى لأشرطة الطاقة

لمادة ذات نوعية موجبة

ملاحظة :

المواد شبه الموصلة تكون عازلة فى درجات الحرارة المنخفضة اما فى درجة حرارة الغرفة فإن هذه الحرارة كافية لتحرير بعض الالكترنات من أربطتها المزدوجة وينتج عن ذلك إلكترون وثقب حران فى المادة وبالتالى تصبح موصلة .

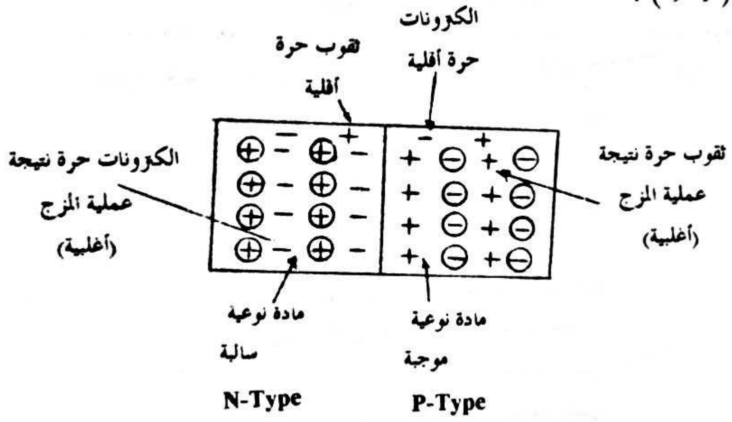
ماذا سيحدث عندما نوصل مادة شبه موصل ذات نوعية موجبة مع أخرى ذات نوعية سالبة ؟

الاعتقاد السائد فى البداية كان هو ان الإلكترونات الحرة فى المادة ذات النوعية السالبة ستنتقل جميعا إلى الثقوب الموجودة فى المادة ذات النوعية الموجبة

وبالعكس وبالتالى سوف لا ننتفع بهذا البناء ولكن هذا الاعتقاد كان خاطئاً وذلك كما سنرى حالاً .

1-3) بناءوعمل الصمام الثنائى البلورى
Construction and Operation of the Semiconductor Diode

يتكون الصمام الثنائى البلورى من طبقتين احداهما مادة شبه موصل ذات نوعية موجبة والاخرى مادة شبه موصلة ذات نوعية سالبة كما هو مبين فى شكل (1-9) .

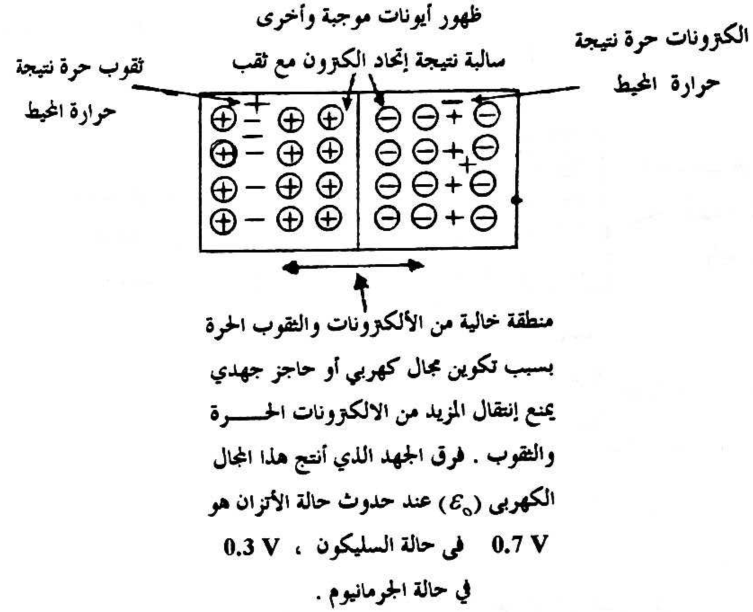


شكل (1-9)

رسم توضيحى لبناء الصمام الثنائى البلورى

الشحنات فى كل من الطبقتين متعادلة أى ان عدد الشحنات السالبة يساوى عدد الايونات الموجبة فى المادة ذات النوعية السالبة وكذلك فى المادة ذات النوعية الموجبة حيث ان عدد الثقوب يساوى عدد الايونات السالبة . عند عملية الالتصاق تنتشر

بعض الالكترونات من المادة ذات النوعية السالبة إلى الثقوب الموجودة فى المادة ذات النوعية الموجبة بسبب الاختلاف فى درجة التركيز وعليه فإن كل عملية إنتقال الكترون إلى ثقب سيسبب اختفائهما وظهور بدلا منهما أيونين احدهما موجب والآخر سالب كما هو مبين فى شكل (1-10) وبالتالى يتكون هناك فرق جهد وبالتالى مجال كهربى يمنع من عملية استمرار انتقال الالكترونات إلى الثقوب أو العكس . منطقة المجال الكهربى تكون خالية من اى نوع من الشحنات الحرة وعلى هذا تسمى منطقة مفرغة (Depletion Region) أو منطقة الحاجز الجهدى ومقدارها V 0.7 في حالة السيليكون ، V 0.3 في حالة الجيرمانيوم .

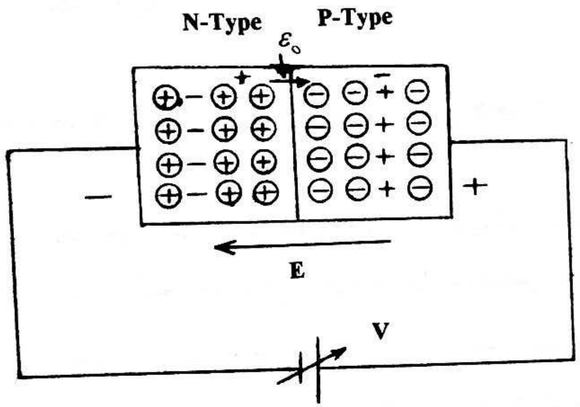


شكل (1-10)

رسم توضيحى يبين تكوين منطقة الحاجز الجهدى

(Electrical Potential Barrier, Depletion Region)

ماذا سيحدث إذا قمنا بتوصيل هذا الصمام بطرفى بطارية بحيث نوصل القطب الموجب للبطارية مع المادة ذات النوعية الموجبة والقطب السالب للبطارية مع المادة ذات النوعية السالبة كما هو مبين فى الشكل (1-11) ؟



شكل (1-11)

التوصيل الامامى (حالة سامح) للصمام الثنائى البلورى

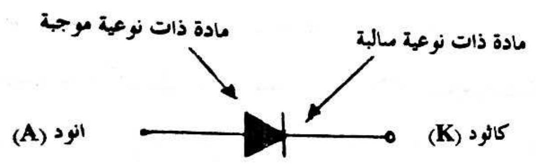
فرق الجهد المنتج نتيجة اتصال المادة ذات النوعية الموجبة مع المادة ذات النوعية السالبة والذى يساوى V 0.7 فى حالة السيليكون والذى له مجال كهربي ε_0 واتجاهه كما هو مبين فى شكل (1-11) كان كافيا لمنع انتقال اى من الشحنات الحره سواء أكانت إلكترونات أو ثقوب من طرف إلى آخر ولكن فى حالة توصيل البطارية كمل هو مبين فى شكل (1-11) وخاصة إذا كان فرق جهدها اكبر من 0.7 V فى حالة الصمام المصنوع من مادة السيليكون فإن فرق جهد البطارية سينتج

مجالا كهربيا E على طول الطبقتين واتجاهه معاكس لفرق الجهد V_o فاذا كانت ε_o > E فإن حالة الاتزان الآن تكون قد اختلت وذلك لصالح عملية التوصيل وتبدأ الأن الالكترونات الحرة بالانتقال من المادة ذات النوعية السالبة الى المادة ذات النوعية الموجبة والثقوب تقوم بالانتقال من المادة ذات النوعية الموجبة إلى المادة ذات النوعية السالبة وعلى هذا يسرى تيار داخل هذا الصمام . هذا التوصيل للصمام نسميه توصيل أمامى (أو سامح) (Forward Bias condition).

ماذا سيحدث عند عكس أقطاب البطارية للشكل الاخير ؟

فى هذه الحالة يكون اتجاه E هو نفس اتجاه ε_o وحيث أن ε_o سببت حالة اتزان ومنعت اى نوع من الشحنات الاغلبية الحرة من الانتقال من طرف إلى آخر فإن E التى لها الآن نفس اتجاه ε_o فسواء كانت $E \gtrless \varepsilon_0$ فإن الصمام يبقى مانعا لمرور اىنوع من شحنات الاغلبية عبر نقطة الاتصال . الشحنات الوحيدة القادرة على عبور منطقة الحاجز الجهدى هى شحنات الاقلية (انظر الشكل السابق . هذا التيار يسمى تيار الأقلية أو التيار المعاكس (I_0)ويكون اتجاهه من المادة ذات النوعية السالبة الى المادة ذات النوعية الموجبة وهذا التيار يكون عادة ضئيلا جدا يمكن تجاهله . هذا النوع من التو صيل يطلق عليه التوصيل العكسى (Reverse Bias Condition).

يرمز للصمام الثنائى فى الدوائر الالكترونية بالرمز الموضح فى شكل (1–12) على ان يكون اتجاه السهم فى اتجاه مرور تيار الاغلبية اى من المادة ذات النوعية الموجبة الى المادة ذات النوعية السالبة .

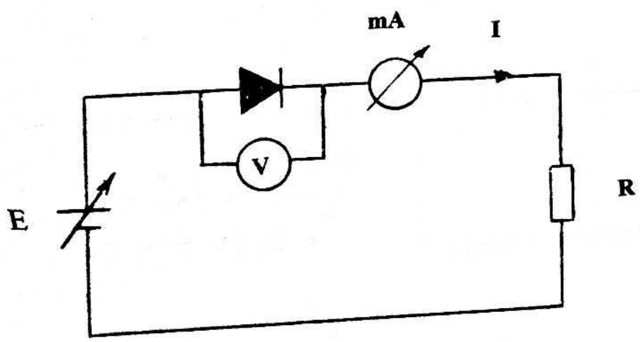


شكل (1–12)

1–4) خصائص الصمام الثنائى البلورى :

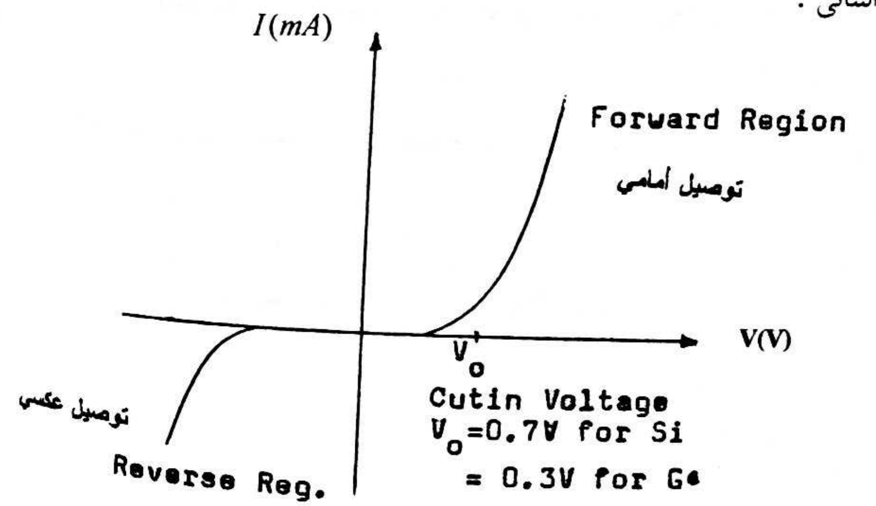
(The characteristics of the Semiconductor Diode) .

لايجاد خصائص الصمام الثنائى نقوم بتوصيل الدائرة الموضحة فى شكل (1–13) .



شكل (1–13)

يوصل قطبى البطارية (E) ليصبح الصمام الثنائى فى حالة سامح ويسجل فرق الجهد بين قطبيه (V) وكذلك التيار المار من خلاله (I) . يُغير قيمة فرق الجهد بين قطبى الصمام بواسطة التغير فى جهد البطارية (E) ونسجل القيمة الجديدة لفرق الجهد بين قطبى الصمام وكذلك التيار المار من خلاله عدة مرات. تعكس أقطاب البطارية (E) ليصبح الثنائى فى حالة مانع ويسجل فرق الجهد بين قطبيه وكذلك التيار المار من خلاله عدة مرات فى هذه الحالة يكون التيار المار ذو قيمة صغيرة جدا (ميكرو أو نانو امبير) وهذا التيار ما يسمى بالتيار العكسى . ترسم العلاقة البيانية بين فرق الجهد بين قطبى الصمام (V) والتيار المار من خلاله (I) فى الحالتين سامح ومانع كما هوموضح فى شكل (1-14). يسمى المنحنى الناتج من هذه العلاقة البيانية بمنحنى الخواص للصمام الثنائى البلورى أو خصائص الصمام الثنائى .



شكل (1-14)

خصائص الصمام الثنائى

هذا المنحنى للصمام الثنائى المبين فى شكل (1-14) يمكن التعبير عنه رياضيا بالعلاقة الآتيــــة :

$$I = I_0(e^{V/V_T} - 1) \qquad (1-1)$$

حيــــث أن

$$V_T = \frac{KT}{q} \qquad (2-1)$$

K (Boltzmann constant) = $1.38 \times 10^{-23}\, J/K$	ثابت بولتسمان
T (Absolute Temp. in Kelvin)	درجة الحرارة المطلقة
q (The elementary charqe) = $1.602 \times 10^{-19} C$	شحنة الالكترون أو الثقب
I_0 (Reverse current)	التيار العكسى
I (the current of the diode)	التيار المار خلال الثنائى
V (The voltage of the diode)	فرق الجهد بين قطبى الصمام الثنائى

إذا اعتبرنا أن درجة حرارة الغرفة هى 27 °C هذا يعنى أن T=300K بالتعويض فى المعادلة (2-1) نحصل على :

$$V_T = \frac{1.38 \times 10^{-23} \times 300}{1.6 \times 10^{-19}} = 0.026V \cong 26mv$$

يمكن اعادة كتابة المعادلة (1-1) بعد أخذ اللوغاريتم الطبيعى للطرفين واهمال تيار الاقلية أى ان ($I_o \cong 0$) كما يلى :

$$\frac{V}{V_T} = \ln\left(\frac{I}{I_o}\right) \qquad (3-1)$$

$$V = V_T \ln\left(\frac{I}{I_o}\right) = 26 \ln\left(\frac{I}{I_o}\right) mV \qquad (4-1)$$

يمكن الاستفادة من العلاقة (1-4) للإجابة على السؤال الأتى : ما هو فرق الجهد بين طرفى الثنائى V_2 عندما يمر به تيارا مقداره I_2 علما بأن فرق الجهد V_1 يسبب مرور تيارا مقداره I_1 ؟ للإجابة على هذا السؤال نتبع ما يلى :

$$V_2 = 26 \ln \frac{I_2}{I_o} \qquad (5-1)$$

$$V_1 = 26 \ln \frac{I_1}{I_0} \qquad (6-1)$$

بطرح (1-6) من (1-5) نحصل على :

$$V_2 - V_1 = 26 \left[\ln \frac{I_2}{I_o} - \ln \frac{I_1}{I_o} \right] mv$$

$$V_2 = V_1 + 26 \ln \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \text{ mV} \qquad (7-1)$$

هنا اعتبرنا ان تيار الأقلية ثابتا فى الحالتين .

ملاحظة :

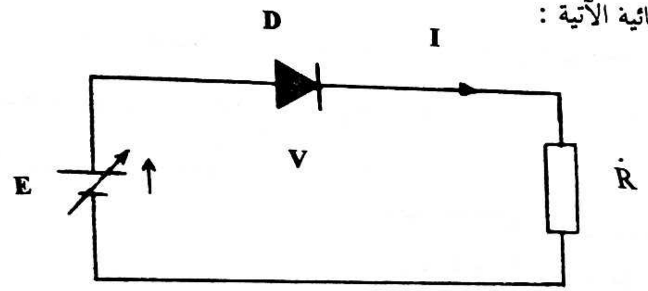
أ) تيار الاقلية (I_o) تتضاعف قيمته كلما ارتفعت درجة حرارة الصمام عشر درجات مئوية ($10\,^\circ C$) .

ب) الحاجز الجهد (V_o) تتناقص قيمته بمقدار (1 mV) كلما ارتفعت درجة حرارة الصمام درجة مئوية واحدة .

1-5) خط التحميل ونقطة العمل :

Load line and the operating point (or quiescent point Q.P.)

لإيجاد العلاقة الرياضية لخط التحميل ونقطة عمل الصمام الثنائى نرسم الدائرة الكهربائية الآتية :



شكل (1-15)

دائرة لإيجاد العلاقة الرياضية لخط التحميل

باستخدام قاعدة كيرشوف للجهد نحصل على :

$$E = V + IR$$

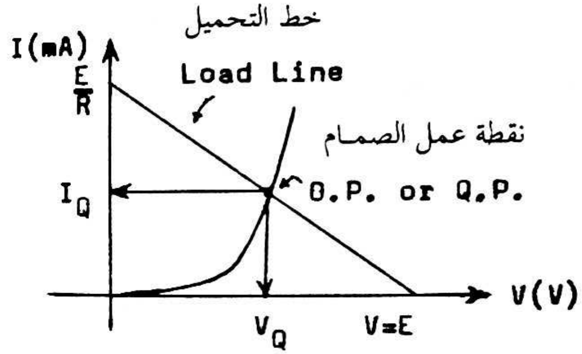
$$I = -\frac{1}{R} V + \frac{E}{R} \qquad (8-1)$$

هذه العلاقة خطية تربط تيار الصمام الثنائى مع فرق الجهد الواقع عليه فى هذه الدائرة ولرسم هذه العلاقة يكفى ايجاد نقطتين لرسم الخط المستقيم (والذى يسمى خط التحميل) .

إذا كان V=0 فإن $I = \frac{E}{R}$

وإذا كان I=0 فإن V=E

برسم منحنى الصمام الثنائى على شكل (1-16) والذى يمثل العلاقة (1-8) نجد انه يتقاطع مع خط التحميل فى نقطة والتى نسميها نقطة عمل الصمام (operating point or Quiescent point Q.P) .

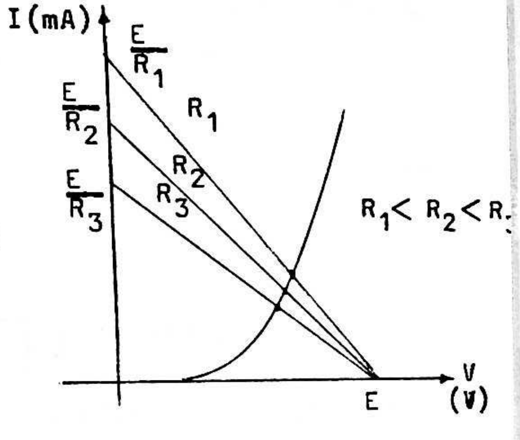


شكل (1-16)

منحنى خصائص صمام ثنائى سيليكونى وكذلك خط التحميل ونقطة العمل

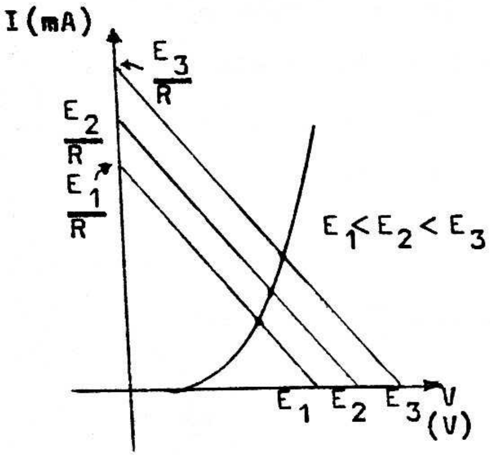
عند تلك الشروط الموجودة فى تلك الدائرة فإن إحداثيات نقطة التقاطع هذه تعطينا التيار الذى يمر فى الصمام الثنائى وفرق الجهد الواقع عليه فى هذه الدائرة ، إن هذا التيار وذلك فرق الجهد سوف يتغيران بتغير قيمة المقاومة الموجودة فى الدائرة وبالامعان فى العلاقة الخطية (1-8) نجد أن المقاومة تؤثر على ميله (The Slope) لهذا الخط فيقل الميل بزيادة المقاومة R والعكس كما هو مبين فى شكل (1-17) ، زد على ذلك فى حالة تثبيت قيمة R وتغير قيمة E نجد أن خط التحميل يتغير وضعه بأن

يتحرك موازياً لوضعه الأول إما إلى أعلى أو إلى أسفل كما هو مبين فى شكل (1-18) .



شكل (1-17)

فى حالة تغير قيمة المقاومة وتثبيت (E)



شكل (1-18)

فى حالة تغير E وتثبيت R

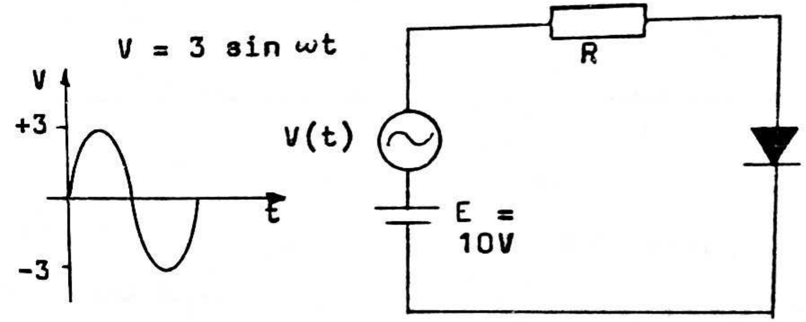
1-6) المقاومة الأستاتيكية (الساكنة) للصمام : (Static Resistance(R_{dc}))

كما ذكرنا سابقا بأن نقطة تقاطع المنحنى مع خط التحميل يعطينا التيار المار فى الصمام الثنائى وفرق الجهد الواقع عليه ، لذا فإن له مقاومة معينة فى تلك الدائرة وهى المقاومة الاستاتيكية (R_{dc})

$$R_{dc} = \frac{V_Q}{I_Q} \qquad (1-9)$$

7-1) المقاومة الديناميكية للصمام : Dynamic Resistance (r_d)

تحتوى الدائرة الإلكترونية على مصدر كهربائى مستمر وأخر متغير. هنا سندرس هذه الحالة انظر شكل (1-19) .

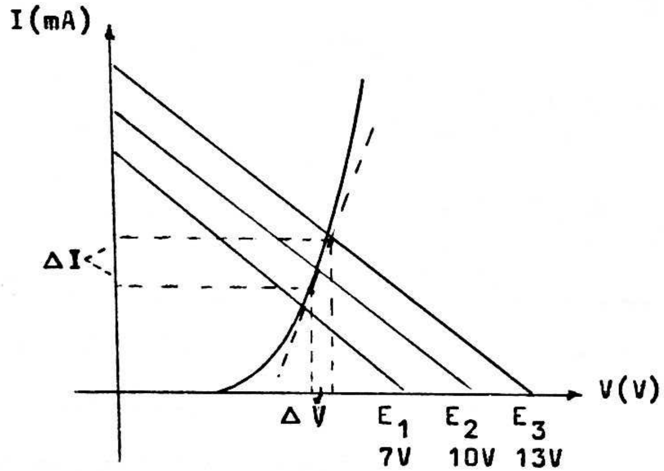


شكل (1-19)

دائرة لدراسة المقاومة الديناميكية (r_d)

المصدر الكهربى الكلى لهذه الدائرة تتغير قيمته من القيمة الدنيا 7V + وحتى القيمة العليا 13V + وفى جميع الحالات فإن الصمام الثنائى سيبقى فى حالة سماح (Forward) وبناء على ما جاء فى شكل (1-18) يمكن الحصول على عدد لا نهائى من خطوط التحميل (Load Lines) موازية لبعضها البعض وكل واحد منها يقطع منحنى الصمام الثنائى فى نقطة عمل (O.P.) خاصة بتلك الحالة وحيث ان قيم

المصدر الكهربى متغيرة لحظيا بسبب وجود فرق الجهد المتردد لذا فإن التيار وفرق الجهد الخاصة بالصمام تتغير لحظيا مع الزمن وعلى هذا فإن المقاومة الخاصة لهذا الصمام تتغير لحظيا ولايجاد هذه المقاومة المتغيرة أو الديناميكية (r_d) Dynamic Resistance والمتسببة نتيجة وجود المصدر الكهربى نرسم الميل للمنحنى عند نقطة العمل لخط التحميل $E = 10$ V اى عندما يكون فرق جهد المصدر المتردد مساويا الصفر ثم نوجد $\Delta I, \Delta V$ وبالتالى نحصل على r_d باستخدام قانون أوم انظر شكل (1-20) .



شكل (1-20)

شكل توضيحى لايجاد المقاومة الديناميكية (r_d)

يمكن الحصول على (r_d) بطريقة رياضية وذلك باستخدام العلاقة (1-1) كما يلى :

$$I = I_0\left(e^{V/V_T} - 1\right)$$

$$= I_o e^{V/V_T} - I_o ....or$$

$$I + I_o = I_o e^{V/V_T} \cong I$$

$$\frac{dI}{dV} = \frac{1}{V_T} I_o e^{V/V_T}$$

$$= \frac{1}{V_T}(I + I_o) \cong \frac{I}{V_T}$$

$$r_d = \frac{dV}{dI} \cong \frac{V_T}{I} = \frac{26(mV)}{I} = \frac{26(mV)}{I(mA)}(\Omega)......(10-1)$$

هذه العلاقة لا تأخذ بعين الاعتبار مقاومة المادة شبه الموصلة التى يتكون منها الصمام الثنائى وكذلك مقاومة نقاط الاتصال بين أطراف الصمام والمادة شبه الموصلة . هذه المقاومات مجتمعة تسمى المقاومة الجسمية (أو الحجمية) r_B (Bulk Resistance) وعلى هذا تصبح العلاقة (1–10) كما يلى :

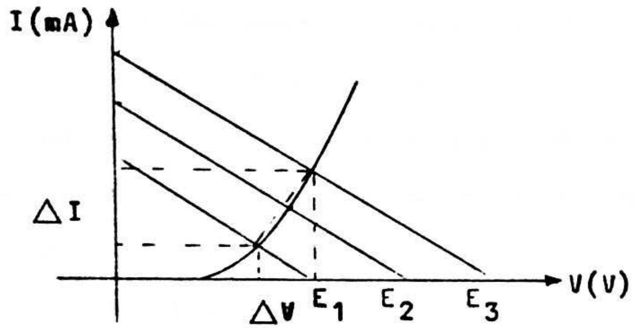
$$r_d = \frac{26}{I} + r_B \qquad (11-1)$$

قيمة r_B تتراوح بين $0.1\,\Omega$ للصمامات ذات القدرة العالية ، $2\,\Omega$ للصمامات ذات القدرة المنخفضة .

1–8) المقاومة المتوسطة (Average Resistance (r_{av})) :

إذا كان المصدر الكهربى المتردد فى شكل (1–19) قيمة ذروته كبيرة فإن نقطة العمل لهذا الصمام سوف تتغير بخطوات كبيرة على طول منحنى الصمام وعلى هذا فإن المقاومة لهذا الصمام لا تحسب باستخدام المماس عند نقطة العمل لهذا

الصمام عند اللحظة التى يكون فيها فرق جهد المصدر الكهربى مساويا الصفر وانما نقوم برسم الوتر بين نقطتى عمل الصمام عندما يكون فرق الجهد الكلى لهذه الدائرة اكبر قيمة وكذلك عندما يكون أصغر قيمة وبأخذ القيم ΔV وكذلك ΔI واستخدام قانون آوم نحصل على المقاومة المتوسطة (r_{av}) انظر شكل (1–21) .



شكل (1–21)

شكل توضيحى لايجاد المقاومة المتوسطة (r_{av})

$$r_{av} = \frac{\Delta V}{\Delta I} \qquad (12-1)$$

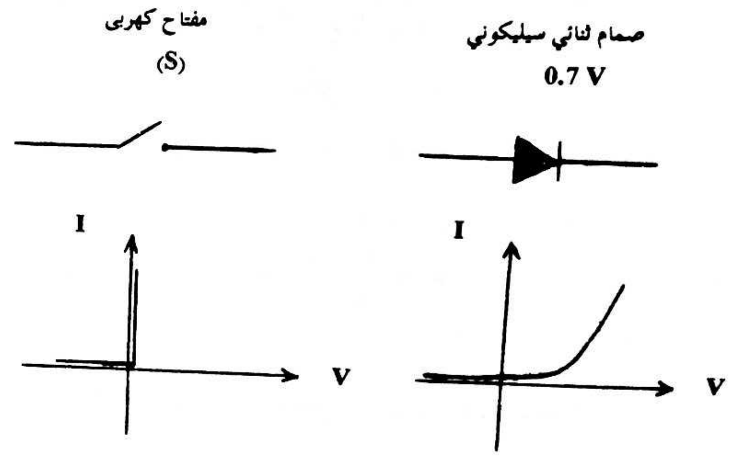
1–9) الدائرة المكافئة للصمام الثنائى : (Equivalent circuit)

إن الصمام الثنائى بشكله الحالى غير معروف لدينا فى الدوائر الكهربية التى تعاملنا معها سابقا . فكل ما نعرفه عن الدوائر الكهربية انها تحتوى اما على مقاومات أو مكثفات أو محاثات (ملفات) أو جميعهم لذا فإننا لا نستطيع التعامل مع الصمام الثنائى بشكله الحالى وعلى هذا فإن ايجاد دائرة مكافئة له والتى تحتوى على عناصر نعرفها شيء ضرورى ومفيد وخاصة عندما لا يكون منحنى الخواص متوفر

لدينا لايجاد التيار المار خلاله وكذلك فرق الجهد بين أقطابه . يوجد ثلاثة دوائر مكافئة تقريبية مختلفة يمكن استعمالها بدل الصمام الثنائى والتى خصائصها تشبه تقريبا خصائص هذا الصمام .

أ) الدائرة المكافئة الاولى للصمام (First Equivalent circuit)

يمكن تمثيل الصمام الثنائى على أنه مفتاح كهربى اى التعويض عنه فى الدوائر الكهربية بواسطة مفتاح كهربى وذلك لإن هناك شبه بين خصائص المفتاح وخصائص الصمام كما هو مبين فى شكل (1−22) .



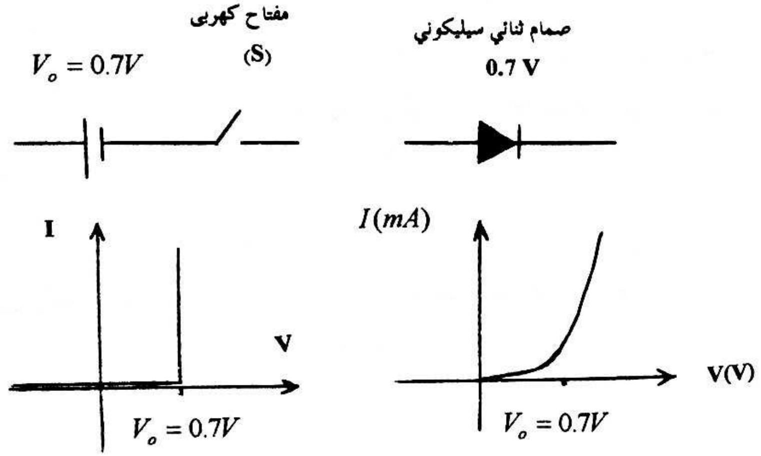
خصائص الصمام الثنائى السيليكونى　　　خصائص المفتاح الكهربى

شكل (1−22)

خصائص كل من الصمام الثنائى السيليكونى والمفتاح الكهربى

ب) الدائرة المكافئة الثانية للصمام الثنائى : (Second Equivalent circuit)

من الدائرة المكافئة الاولى للصمام نرى ان هناك اختلافا بين خصائص الصمام الثنائى وخصائص الدائرة المكافئة وعلى هذا وجب علينا ان نبحث عن دائرة مكافئة أخرى يكون وجه الشبه فى خصائصها لخصائص الصمام الثنائى اكبر من السابقة لهذا فإن تشبيه الصمام على انه عبارة عن مفتاح وبطارية قيمتها $V_o = 0.7V$ فى حالة الصمام السيليكونى سيعطينا خصائص أفضل من الدائرة المكافئة الأولى انظر شكل (1−23) .

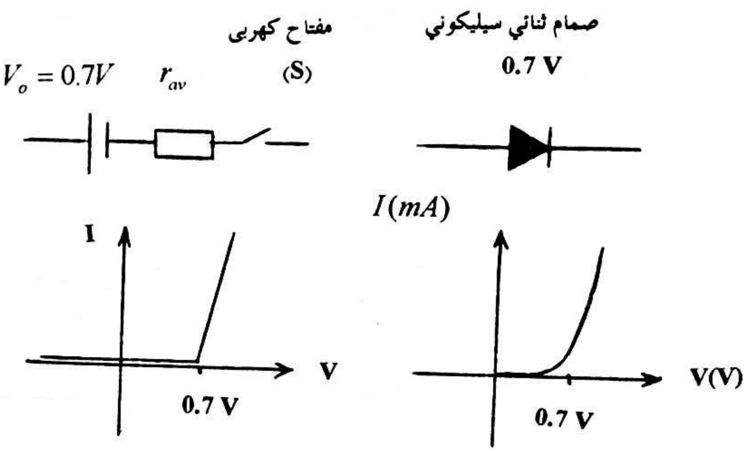


شكل (1−23)

خصائص الصمام الثنائى السيليكونى وكذلك خصائص دائرته المكافئة الثانية

جـ) الدائرة المكافئة الثالثة للصمام الثنائى (Third Equivalent circuit)

يمكن تمثيل الصمام الثنائى السيليكونى بواسطة مفتاح وبطارية قيمتها $V_o = 0.7V$ ومقاومة متوسطة (r_{av}) انظر شكل (1−24) .

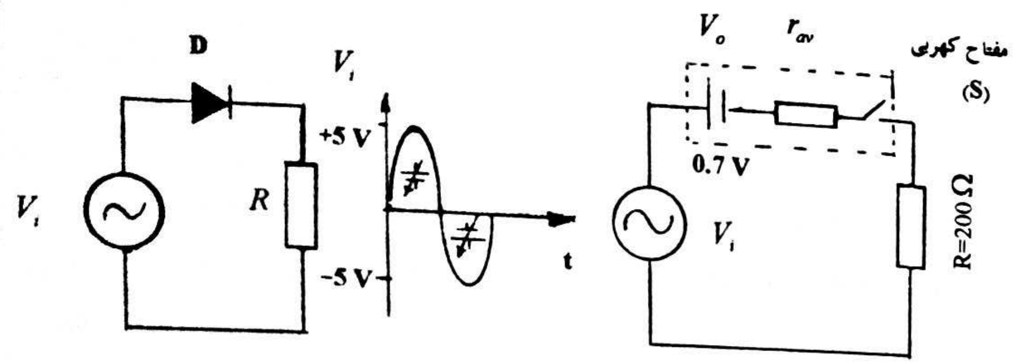


شكل (1−24)

خصائص الصمام الثنائى السيليكونى وكذلك خصائص دائرته المكافئة الثالثة

أمثلة :

1) فى الدائرة الالكترونية شكل (1−25) أوجد فرق الجهد على المقاومة R=200 Ω وكذلك على الصمام الثنائى . افترض ان الصمام مصنوع من مادة السيليكون وأن مقاومته المتوسطة $r_{av} = 30\Omega$. استخدم الدائرة المكافئة الثالثة .



شكل (1−25)

الحل :

لنفرض ان الاجزاء المختلفة من الإشارة الجيبية تنتج أقطابا كما هو مبين بالشكل . سنأخذ قيم لحظية على سبيل المثال $V_p = 5V$

الجزء الموجب من الاشارة :

فرق الجهد المكافىء (E_{tot}) يساوى:

$$E_{tot} = +5 - 0.7 = 4.3V$$

$$I_D = I_R = \frac{E_{tot}}{R_{tot}} = \frac{5-0.7}{200+30} = \frac{4.3}{230} = 0.0187A = 18.7mA$$

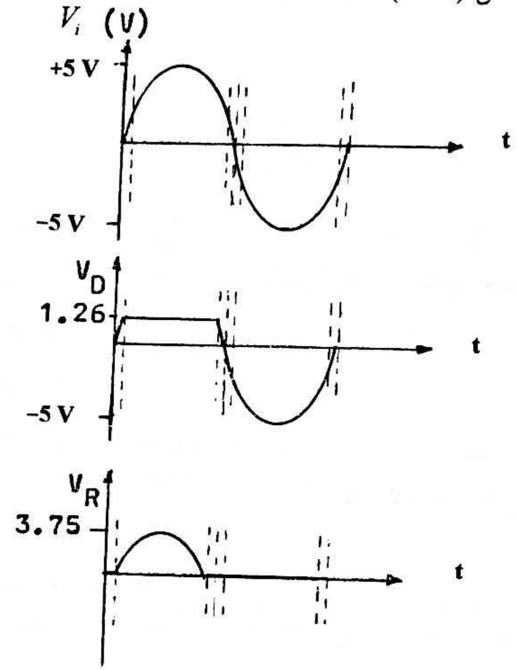
$$V_R = I_R . R = 0.0187 \times 200 = 3.75V$$

$$V_{r_{av}} = I_R . r_{av} = 0.0187 \times 30 = 0.56V$$

$$V_D = 0.7 + 0.56 = 1.26V$$

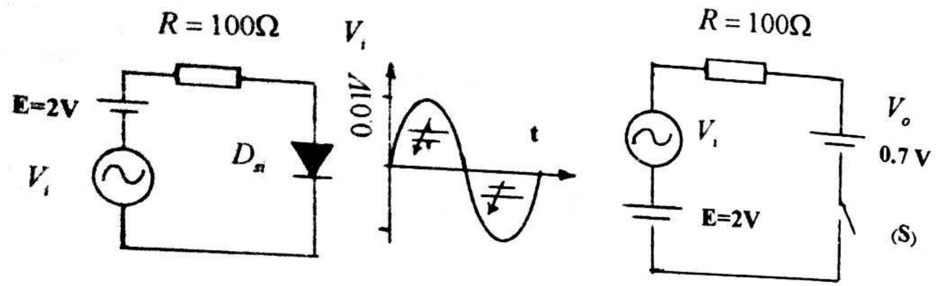
الجزء السالب من الإشارة :

فرق جهد الجزء السالب من الإشارة (-5V) سيجبر الصمام ان يبقى فى حالة مانع وعلى هذا فإن هذا الجهد سيقع على الصمام وإن الجهد الواقع على المقاومة (R) سيكون صفراً انظر شكل (1−26) .



شكل (1−26)

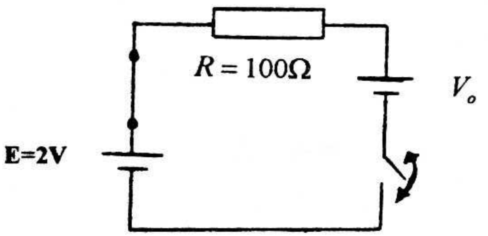
2) أوجد فرق الجهد على كل من المقاومة والصمام السيليكونى فى شكل (1−27) مع استعمال الدائرة المكافئة الثانية للصمام ($r_B = 2\Omega$) .



شكل (1−27)

الحل :

الصمام يبقى دائما فى حالة سامح (Forward) لإن (E=2V) اكبر بكثير من $V_p = 0.01V$ ولايجاد قيمة التيار المار فى R المتسبب نتيجة المصادر الكهربية E ، V_i تستخدم طريقة مبدأ ذاتية المصادر الكهربية (Sup erposition Principle) نبعد أولا المصدر V_i ونضع مكانه سلك نحاس بدلا منه فتصبح الدائرة كما فى شكل (1−28أ)



شكل (1−28 أ)

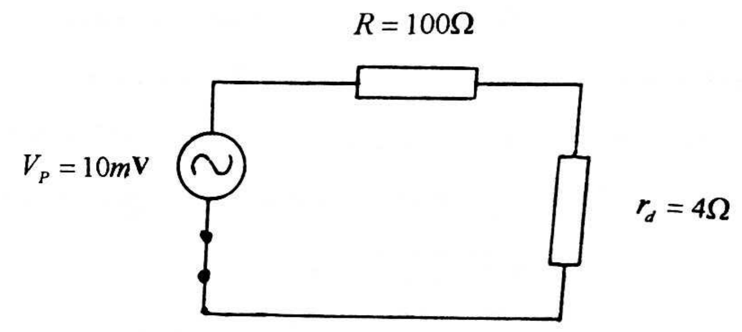
$$I_{R(E)} = \frac{2-0.7}{R} = \frac{1.3}{100} = 13mA$$

$$V_R = 2-0.7 = 1.3V, V_D = 0.7V$$

المقاومة الديناميكية المتسببة بفعل فرق الجهد المتردد :

$$r_d = \frac{26}{I} + r_B = \frac{26}{13} + 2 = 4\Omega$$

لإيجاد تأثير المصدر المتردد فى الدائرة نبعد المصدر الكهربى (E) ونضع مكانه سلك نحاس فتصبح الدائرة كما فى شكل (1-28 ب) .



شكل (1-28) ب

ملاحظة :

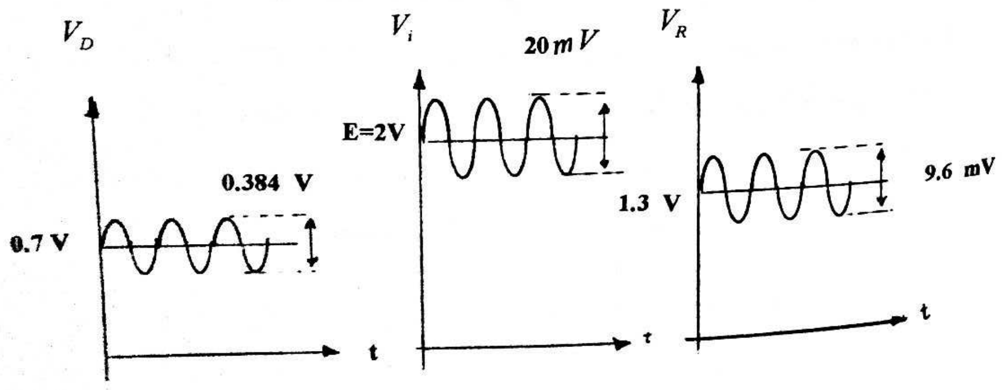
فرق الجهد $V_D = 0.7V$ الممثلة فى الدائرة المكافئة للصمام يجب ألا نفكر بأنه مصدر كهربائى قائم بذاته بل أنه يظهر فقط عند وجود مصدر كهربائى آخر فى الدائرة ولإثبات ذلك نوصل طرفى الصمام على انفراد مع فولتمير سنجد أن الفولتمير لا ينحرف وذلك لإن الصمام الثنائى بشكل عام متعادل كهربيا .

$$I_P = \frac{V_P}{R + r_d} = \frac{10mv}{104\Omega} = 0.096mA$$

$$V_{DP} = I_P r_d = 0.096 \times 4 = 0.384mV$$

$$V_{R_P} = I_P R = 0.096 \times 100 = 9.6mV$$

وبناء على الحسابات السابقة نحصل على شكل (1-29).



شكل (1-29)

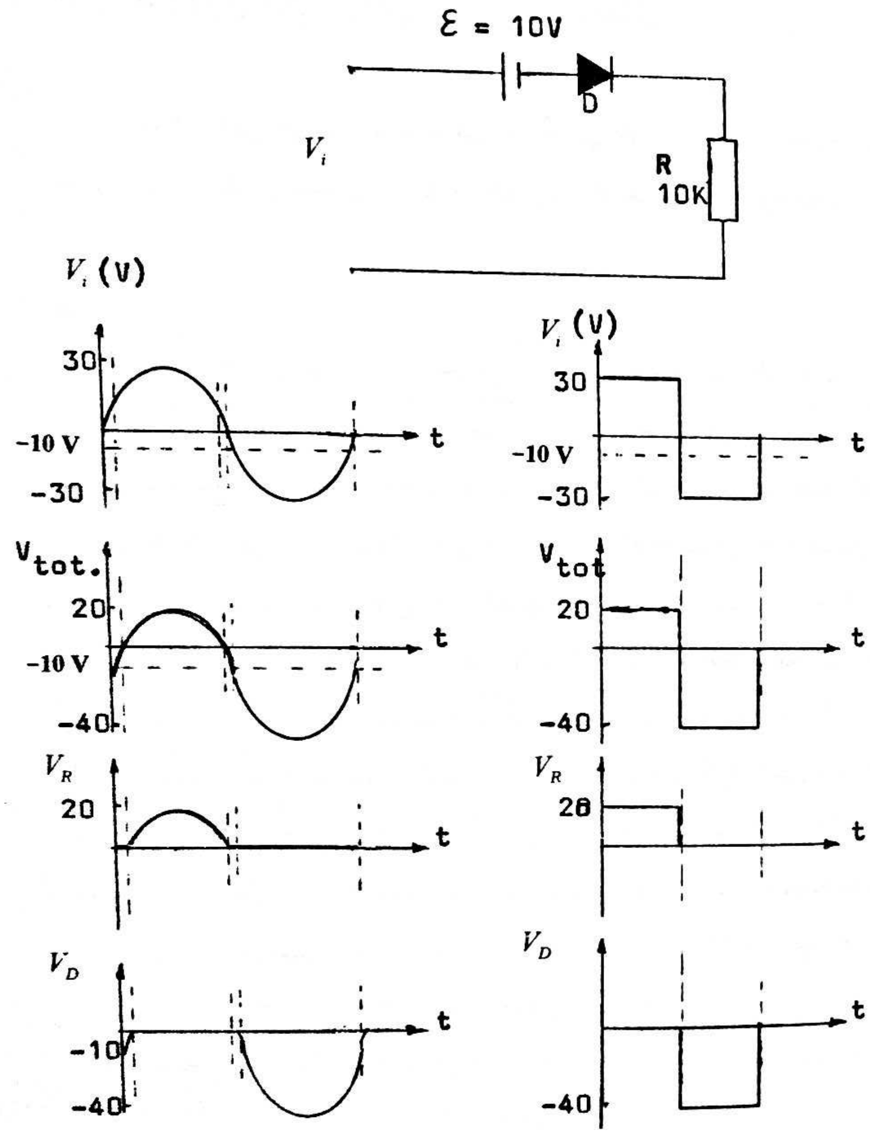
10–1) دوائر لقطع أو تكبير جزء من الإشارة:(Clippers and Clampers)
(دوائر لرفع أو خفض القيمة المتوسطة للاشارة)

أ) دوائر قطع جزء من الإشارة : (Clippers) .

دوائر قطع جزء من الإشارة يجب أن تحتوى على الأقل على كل من صمام ثنائى ، مقاومة ، مصدر كهربائى مستمر (بطارية) بالاضافة إلى الإشارة الكهربية المراد قطع جزء منها . سنعتبر الصمام الثنائى هنا مكافئا للدائرة المكافئة الأولى (مفتاح كهربى).

مثال :

الدائرة الإلكترونية الموضحة فى شكل (1–30) تتكون من صمام ثنائى وبطارية قيمتها (E=10V) ومقاومة ($R=10K\Omega$)ومصدر كهربى متردد (f=1kHz ($V_i = 30\sin\omega t$))أوجد مع الرسم شكل الإشارة على كل من المقاومة والصمام . أوجد ايضا شكل الإشارة الخارجة على كل من المقاومة والصمام فى حالة استخدام موجه مربعه .



شكل (1–30)

ب) دوائر تكبير جزء من الأشارة : (Clampers) :

دوائر تكبير جزء من الاشارة يجب أن تحتوى على الأقل على صمام ثنائى ، مكثف ، ومقاومة بالإضافة إلى الإشارة الكهربية المراد تغير قيمتها المتوسطة .

مثال :

فى الدائرة الإلكترونية الموضحة فى شكل (1−31) ارسم شكل الاشارة على طرفى الصمام وكذلك على طرفى المكثف . لنفرض أن الجزء الأول (الجزء الموجب) من الإشارة ينتج أقطاباً الموجب عند الطرف العلوى للدائرة والسالب عند الطرف السفلى لها كما هو مبين بالشكل وعلى هذا فإن الصمام يصبح فى حالة سامح ولذا فإن المكثف سوف يشحن فى وقت قصير جدا (تقريبا صفر) ألى فرق جهد ($V_C = 10V$) عندمرور الجزىء الثانى من الاشارة فإنه ينتج أقطابا معاكسة لتلك المبينة بالشكل وعلى هذا فإن الصمام سيكون فى حالة مانع ولنفرض أن قيمة R كبيرة جدا لذا فإن الجهد الذى سيقاس على طرفى الصمام سيكون $V_D = +20V$ كما هو مبين فى شكل (1−31 ب) اما الجهد على المكثف فسيبقى $V_C = 10V$ كما هو مبين فى شكل (1− 31 جـ). عندما يكون للمقاومة R قيمة معلومة ($R = 100\Omega$ على سبيل المثال) وعندما يأتى دور الاشارة السالبة فإن الصمام وكما ذكرنا يكون فى حالة مانع وحيث ان المقاومة (R) متصلة على التوازى مع الصمام فإن امكانية تفريغ المكثف لشحنته عن طريق (R) تكون واردة وذلك تحت الشروط الآتية :

الزمن الدورى للموجه T $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1000} = 1m\sec$

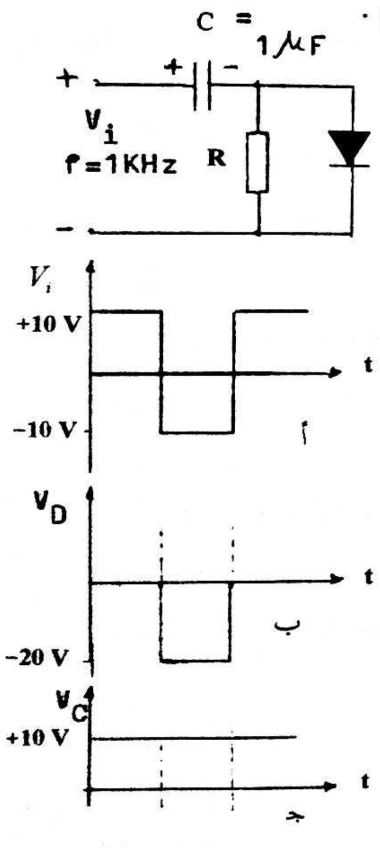
الزمن الذى تستغرقه نصف موجه هو : $\frac{T}{2} = \frac{1m\sec}{2} = 0.5m\sec$

الزمن اللازم لتفريغ المكثف τ

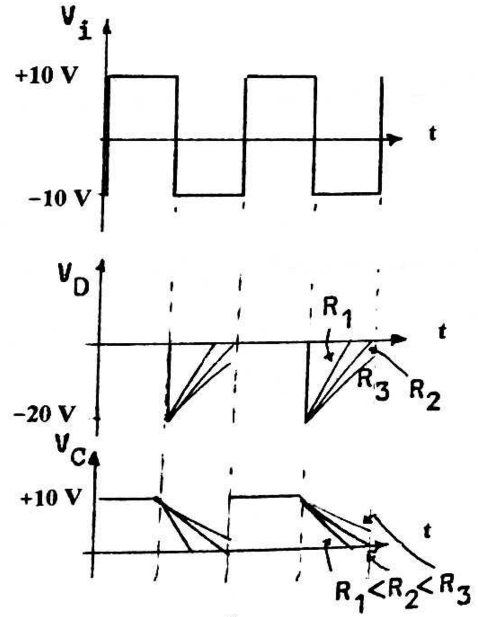
$$\tau = RC = 100\times1\times10^{-6} = 0.1\times10^{-3}\sec = 0.1m\sec$$

$$\frac{T/2}{\tau} = \frac{0.5}{0.1} = 5$$

لهذا فإن المكثف لديه وقت كاف لتفريغ شحنته عندما يكون الصمام فى حالة مانع ولذا نحصل على شكل (1−32) لكل من المكثف والصمام .



شكل (1−31)



شكل (1−32)

1—11) دوائر تقويم التيار : (Rectifier Circuits)

تقويم التيار يعنى أن التيار يصبح سريانه فى اتجاه واحد فقط بدلا من اتجاهين متضادين . هذا التيار المقوم قد يكون على شكل نبضات فى اتجاه واحد أو يكون مستمرا خاليا من هذه النبضات نتيجة دوائر الكترونية أخرى .

توجد ثلاثة دوائر الكترونية لتقويم التيار . سنكتفى بشرح اثنين منها أما الثالثة فستعطى كتمرين من ضمن التمارين الواردة فى نهاية هذا الباب

أ) التقويم النصف موجى (Half - Wave Rectification) .

ملاحظة :

سوف نعتبر الصمام الثنائى المستعمل هنا على انه مساوي للدائرة المكافئة الاولى (مفتاح كهربى) .

تتكون هذه الدائرة من صمام ثنائى ومقاومة (كحمل) والمصدر الكهربى المتردد المراد تقويمه انظر شكل (1—33) والذى يمثل دائرة تقويم نصف موجى . القيمة المتوسطة للموجة المقومة بين طرفى المقاومة $\overline{V}_{dc}$ توجد كما يلى :

$$\overline{V}_{dc} = \frac{1}{T}\int_0^T V_m \sin\omega t dt$$

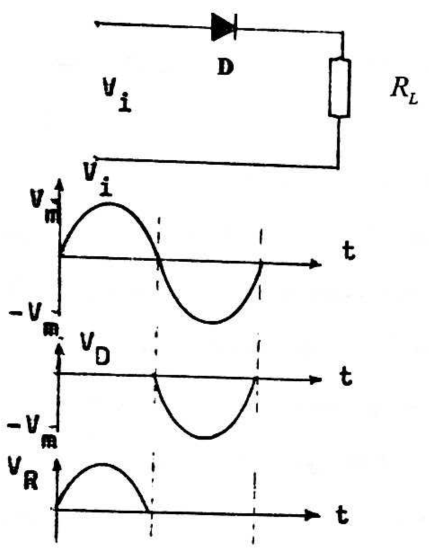
$$\overline{V}_{dc} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} V_m \sin\Theta d\Theta$$

$$= \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} V_m \sin\Theta d\Theta$$

$$= \frac{V_m}{2\pi}\int_0^{\pi} \sin\Theta d\Theta$$

$$\overline{V}_{dc} = \frac{V_m}{2\pi}\left[-\cos\Theta\right]_0^{\pi}$$

$$\overline{V}_{dc} = \frac{V_m}{2\pi} \times 2 = \frac{V_m}{\pi} \qquad (13-1)$$



شكل (1—33)

مثال :

إذا كانت ذروة (قمة) الموجه الجيبية هى $V_m = 10\pi V$. أوجد القيمة المتوسطة للموجة فى حالة التقويم النصف موجى على طرفى مقاومة التحميل (R_L)

من معادلة (1—13)

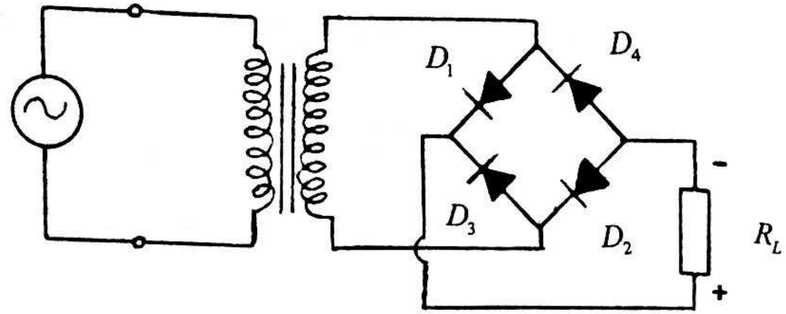
$$\overline{V_{dc}} = \frac{V_m}{\pi}$$

$$= \frac{10\pi}{\pi} = 10V$$

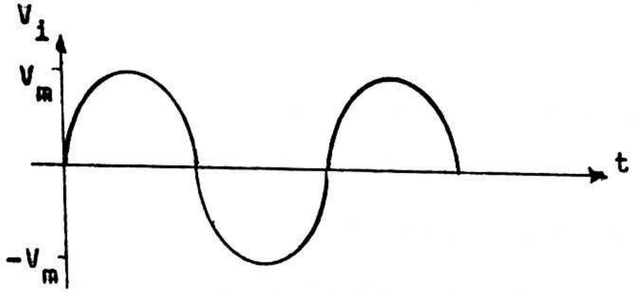
هذا يعنى ان الجهد الناتج صغير جدا مقارنة بذروة الذبذبة الداخلة لهذا فنحن نطمع فى دائرة تقويم أخرى تعطينا نتائج أفضل من هذه النتيجة .

ب) التقويم الكلى للموجه : (Full-Wave Rectification).

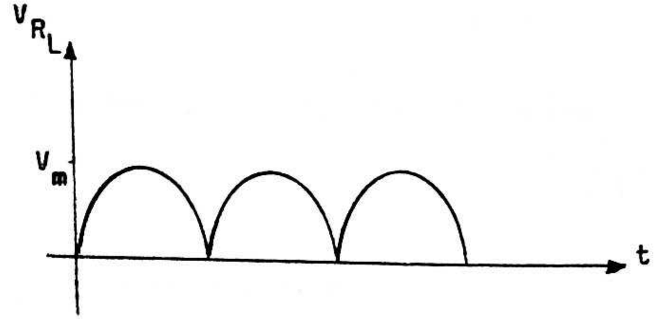
هذا النوع من التقويم يمكن الحصول عليه بعدة طرق ولكن نكتفى بالطريقة المشهورة وهى باستخدام قنطرة التقويم كما هو موضح فى شكل (1-34). نفترض ان الجزء الاول العلوى من الموجه يسبب جهدا موجبا على الطرف العلوى للصمام D_1 وسالبا على الطرف السفلى للصمام D_2 معنى هذا ان كل من الصمام D_1 ، D_2 فى حالة سامح أما D_3 , D_4 فهما فى حالة مانع وعلى هذا فإن فرق جهد سيقع على المقاومة R_L قطبه الموجب على الطرف السفلى للمقاومة والسالب على الطرف العلوى لها . أما إذا جاء الجزء الثانى (السالب) من الموجه فإنه سيسبب أقطابا مخالفة للجزء الموجب من الموجه وعلى هذا فإن D_1 ، D_2 سيصبحان فى حالة مانع بينما D_3 ، D_4 فى حالة سامح وعلى هذا فإن تيارا سيمر من D_3 إلى D_4 عبر المقاومة R_L منتجا فرق جهد عليها ويكون اتجاه التيار من أسفل إلى أعلى حيث أن الطرف السفلى جهده أعلى من الطرف العلوى للمقاومة . هذا يعنى أن جزئى الإشارة (السالب والموجب) ينتجان فرق جهد بين طرفى المقاومة (R_L) بحيث يسبب فى كل مرة تيارا من اسفل إلى أعلى وعلى هذا نحصل على موجه كالموضحة فى شكل (1-34جـ) .



شكل (1-34 أ)



شكل (1-34ب)



شكل (1-34جـ)

معنى هذا اننا استفدنا من جزىء الموجه وعلى هذا فإن :

$$\overline{V}_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} \qquad (14-1)$$

وبتطبيق.المثال السابق هنا نجد أن

$$\overline{V}_{dc} = \frac{2 \times 10\pi}{\pi} = 20V$$

وهذه نتيجة أفضل بكثير مما حصلنا عليه فى دائرة التقويم نصف الموجى السابقة . من الشرح السابق نرى فى كل مرة انه إذا كان D_1 ، D_2 فى حالةسامح فإن D_3 ، D_4 يكونان فى حالة مانع والعكس صحيح أو بطريقة أخرى عندما يكون D_1 فى حالة سامح يكون D_3 فى حالة مانع وأن فرق الجهد الواقع على طرفى D_3 هو فرق جهد المقاومة V_{R_L} فقط اى يساوى (V_m) .

مثال :

صمم مصدر كهربائى مستمر لاعطاء $\overline{V}_{dc} = 15V$ علما بأن جهد الخط الكهربى المنزلى يساوى $V_{rms} = 220V$.

الحل : نستخدم قنطرة التقويم وعلى هذا :

$$\overline{V}_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} = 15V$$

$$V_{mo} = \frac{15\pi}{2} \cong 24V$$

$$V_{rms} = \frac{V_{mi}}{\sqrt{2}} = 220V$$

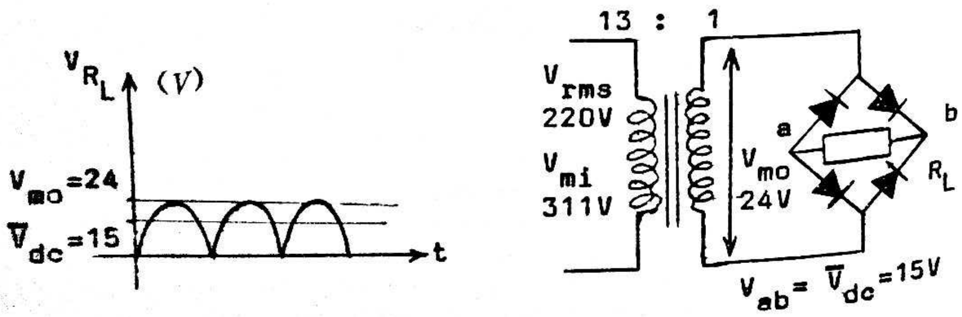
$$V_{mi} = 220\sqrt{2} = 311V$$

نسبة عدد لفات المحول اللازم استخدامه

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{311}{24} \cong \frac{13}{1} \Rightarrow N_1 : N_2 \rightarrow 13:1$$

وعليه تكون الدائرة المستخدمة كما فى شكل (1-35)

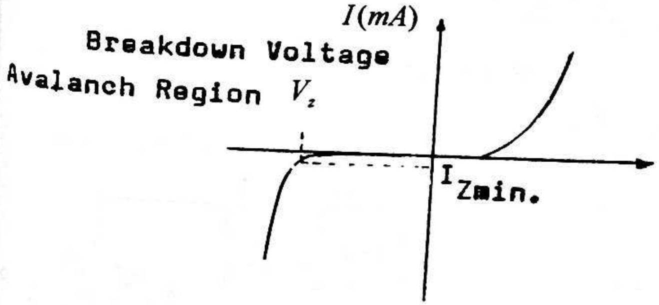
$$V_{ab} = \overline{V}_{dc} = 15V$$



شكل (1-35)

(12–1) صمام أو ثنائى زينر :(Zener Diode)

سندرس هنا وضع الصمام الثنائى عندما يكون فى حالة مانع فى الدوائر الالكترونية . من خصائص الصمام التى قمنا بدراستها فيما سبق نجد وكما هو مبين فى شكل (1–36) أن الاقلية من الالكترونات والثقوب الموجودة فى كل من الطرفين هى الوحيدة القادرة على الانتقال خلال المنطقة المفرغة من الشحنات الحرة ولقد سمينا هذا بالتيار العكسى (I_0) وأن قيمته بالنانو امبير فى حالة الصمام السليكونى وبالميلى امبير فى حالة الصمام المصنوع من مادة الجرمانيوم وبزيادة فرق الجهد على طرفى الصمام (فى حالة مانع)نجد ان التيار العكسى يزداد زيادة ضئيلة وعند وصول فرق الجهد إلى حد معين نلاحظ أن هناك زيادة مفاجئة وبقيم كبيرة من التيار العكسى (انظر الشكل) فرق الجهد الذى تحدث عنده هذه الظاهرة يسمى فرق جهد زينر (V_z) (Zener voltage) أو منطقة الانهيار (Breakdown Region or Avalanch Region).



شكل (1–36)

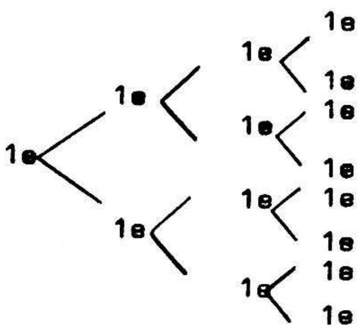
خصائص صمام ثنائى زينر

(Characteristics of the Zener Diode)

عند زيادة فرق الجهد العكسى نلاحظ أن زيادة فى قيمة التيار العكسى وتكون كبيرة عند منطقة الأنهيار وعلى هذا يمكن تعريف مقاومة صمام زينر كما يلى :

$$R_z = \frac{\Delta V_z}{\Delta I_z} \qquad (15-1)$$

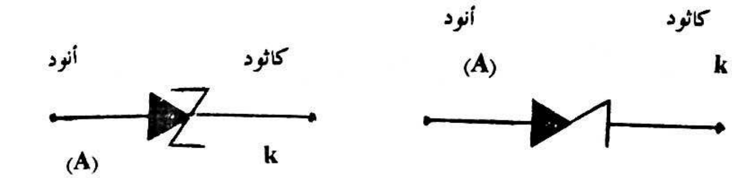
لتعليل ظاهرة منطقة الانهيار نقول بأنه عند وصول فرق الجهد العكسى إلى حد معين بحيث أن المجال الكهربى($E = \frac{V}{l}$) الواقع على طول الصمام كاف لانتزاع إلكترونات التكافؤ من روابطها المزدوجة وعندئذ تصبح حرة وتحدث الزيادة المفاجئة فى التيار مما يؤدى إلى الشكل السابق أما تعليل ظاهرة الانهيار فى الصمام الثنائى فهى ان الالكترونات الحرة تكتسب طاقة حركية نتيجة وصول فرق الجهد العكسى إلى هذا الحد بحيث تكون هذه الألكترونات المتسارعة قادرة على تأيين ذرات البلورة مما يساهم فى الزيادة المفاجئة فى عدد الالكترونات الحرة وبالتالى زيادة التيار انظرشكل (1–37) .



شكل (1–37)

تعليل منطقة انهيار الصمام الثنائي

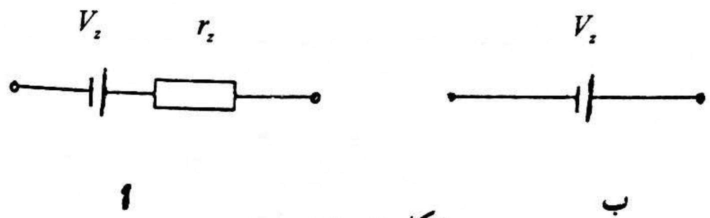
لقد اتفـــق على أن يرمز لصمام زينر بـاصطلاح علمـى يظهـر فـى شكل (38-1) .



(38-1)

الاصطلاح العلمى لصمام زينر

الدائرة المكافئة لهذا الصمام تظهر فى شكل (39-1) .



شكل (39-1)

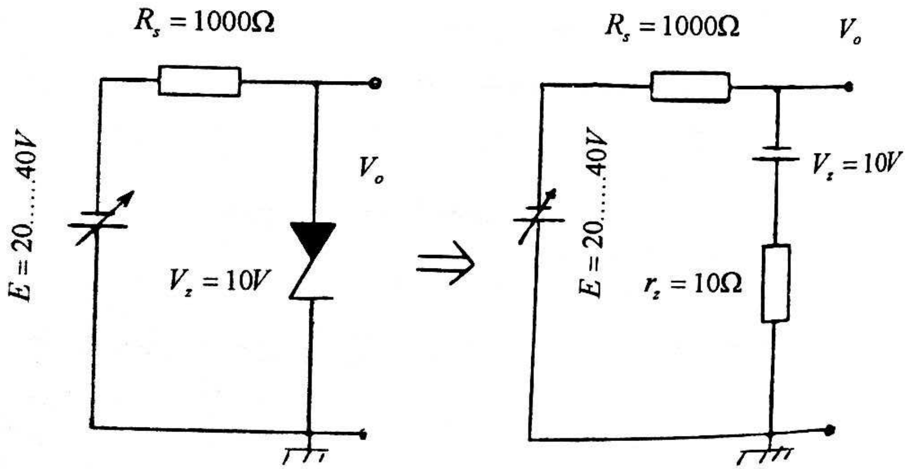
أ) الدوائر المكافئة لصمام زينر

ب) دائرة مكافئة تقريبية

مقاومة زينر تكون عادة صغيرة وتساوى تقريبا عشرة أوم $R_z \cong 10\Omega$.
يوصل صمام زينر فى الدوائر الالكترونية ونظـرا لخصائصـه المميزة فـى حالـة مـانع.
يوجد العديد من صمامات زينر لكل منها جهد خاص به حيث انه يعتمد على نسـبة

الشوائب من عناصر المجموعة الثالثة أو الخامسة المضافة إلى مادة السيليكون حيث انـه كلما ازدادت نسبة الشوائب كلما زاد عدد الالكترونات والثقوب الحرة كلما قـل جهد زينر . إن لصمام زينر اهمية كبيرة فى الحياة العملية حيث يسـتخدم فـى دوائـر التقويم للحصول على فروق جهـد مستمرة غاية فـى الاستمرارية وخالية مـن اى تموجات كما هو موضح فى المثال الآتى :

مثال 1 :دائرة كهربية شكل (40-1) مكونـة مـن مصـدر كهربـائى مستمر والـذى يمكن تغيير قيمتـه مـن 20-40V ومقاومـة $R_s = 1000\Omega$ وأن مقاومـة صمـام زينـر المستخدم فى هذه الدائرة عند نقطة العمل ($r_z = 10\Omega$) وفرق جهد زينر عند منطقة الانهيار يساوى 10V . افترض ان تيار هذا الصمام عند لحظة الانهيـار يسـاوى صفـر $(I_{z_{min}} = 0)$. أوجـد التغير فى فرق الجهد عند المخرج (Vo) .



شكل (40-1)

الحل : لنفرض أن جهد المصدر الكهربى E = 40V وحيث أن $V_z = 10V$ لذا فإن

40 - 10 =30 V

فرق الجهد هذا سيقع على كل من المقاومة r_z, R_s . أنظر الشكل .

$$I_{R_s} = I_z = \frac{30}{1000+10} = \frac{30}{1010} = 0.0297A$$
$$Vr_z = I_z r_z = 0.0297 \times 10 = 0.297V$$
$$V_o = V_z + V_{r_z} = 10 + 0.297 = 10.297V$$

لنفرض ان جهد المصدر تغيرت قيمته من 40 V إلى 20 V فما هو فرق الجهد الآن عند المخرج ؟

$$I_{R_s} = I_z = \frac{20-10}{1010} = \frac{10}{1010} = 0.0099A$$
$$Vr_z = I_z r_z = 0.0099 \times 10 = 0.099V$$

$$V_0 = 10 + 0.099 = 10.099V$$

من النتائج السابقة نشاهد أن فرق جهد المصدر قد تغير بمعدل :

$$\frac{40-20}{40} \times 100 = 50\%$$

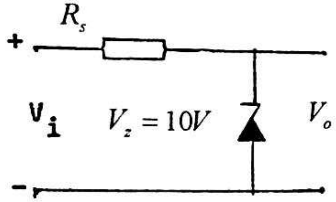
فى حين أن جهد المخرج V_0 لم يتغير إلا بمعدل

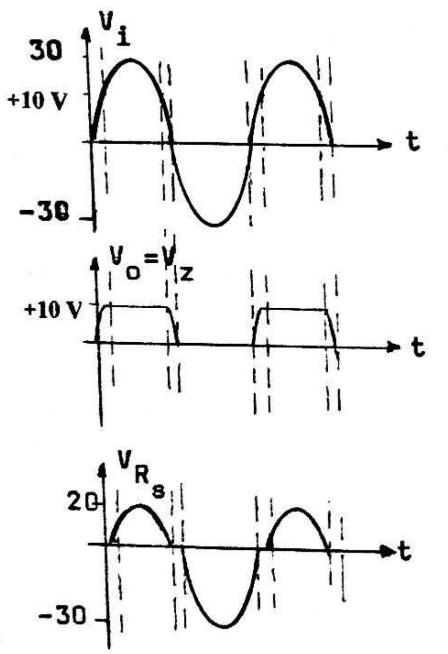
$$\frac{10.297 - 10.099}{10.297} \times 100 = 1.9\%$$

لهذا فإن صمام زينر يمكن أن يستخدم فى عملية الحصول على جهود مستمرة وخالية من التموجات .

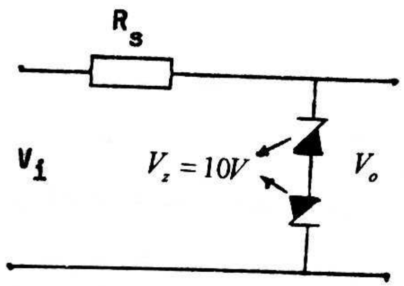
مثال 2 : ارسم الاشارة الكهربية عند المخرج (V_0) للدوائر الآتية :

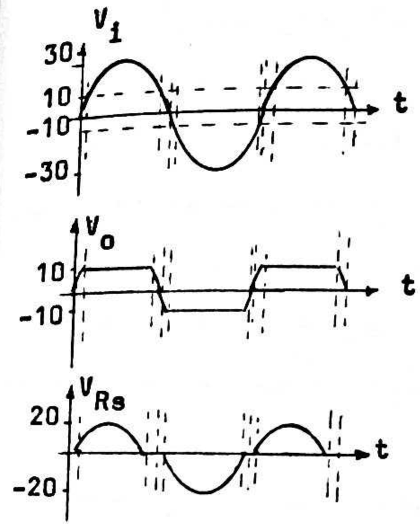
لنفرض أن الجزء الاول من الاشارة ينتج أقطابا موجبه عند الطرف العلوى للدائرة انظر شكل (1-41) ، صمام زينر سيبقى مغلفا طالما فرق الجهد لم يصل للقيمة $V_z = 10V$ وعلى هذا فإن فرق الجهد من 0 الى 10 V يكون واقعا على الصمام وأن فرق جهد مقداره صفر يكون واقعا على المقاومة R_S . عند زيادة جهد المصدر الكهربى عن 10 V فإن هذه الزيادة ستقـــع على المقاومة R_S أما الصمام سيحتفظ بالقيمة $V_z = 10V$. عند وصول الجزء الثانى من الاشارة فإن صمام زينر يكون فى حالة سامح وأن جهد مقداره صفر تقريباً يكون واقعا عليه وأن كل الجهد الداخل يكون واقع على المقاومة R_S انظر الشكل . بنفس الطريقة يمكن إيجاد شكل الاشارة عند المخرج V_0 وكذلك الاشارة على طرفى المقاومة R_S فى شكل (1-42).





شكل (1-41)





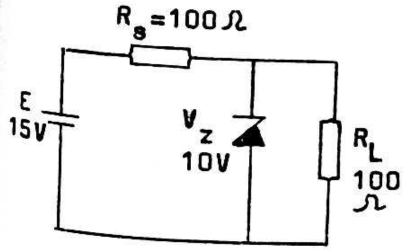
شكل (1−42)

مثال 3 : فى الدائـرة الالكترونيـة شـكل (1−43)

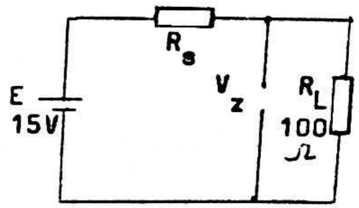
$E = 15V$ ، $V_z = 10V$ ، $R_S = 100\Omega$ ، $R_L = 100\Omega$

أ) اثبت ان صمام زينر سيبقى مغلقا .

ب) كيف يمكن تغيير R_S لكى يصبح صمام زينر فى حالة عمل ؟



شكل (1−43)



شكل (1−44)

الحل :

الدائرة المكافئةلصمام زينر هـى عبـارة عـن بطاريـة جهدهـا 10V.عنـد لحظـة الانهيار يكون تياره صغيراً جدا يمكن اهماله $(I_{z\min} = 0)$ وعلى هذا فإن الصمـام فـى لحظـة الانهيـاريعتبر فىحالـة مانع ولذا فإن شكل (1−43) سيئول إلى شـكل(1−44) وحيث أن $R_S = R_L$ لهذا فإن فرق الجهدسيتوزع بالتساوى على كل منهما اى أن كل منهما يساوى 7.5 V وهو أقل من V_z = 10 V لهذا فإن صمام زيـنر سـيبقى فـى حالـة إغلاق حيث أن الجهد الواقع عليه يساوى 7.5 V وهو أقل من 10Vوهو الجهد الـلازم لعمل الصمام.لكى يعمل الصمام لابـد أن يقـع عليـه وكذلـك بـين طرفى R_L جهـد مقداره 10V معنا ذلك ان الجهد الباقى سيقع علىطرفـى المقاومة R_S وهو :

$$V_{RS} = 15 - 10 = 5V$$

$$I_{RS} = I_{R_L} = \frac{V_z}{R_L} = \frac{10}{100} = 0.1A$$

$$R_s = \frac{V_{RS}}{I_{RS}} = \frac{5}{0.1} = 50\Omega$$

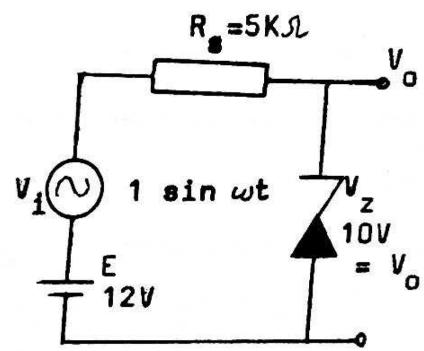
مثال 4 :

أوجد شكل الاشارة على كل من R_S ، V_z فى الدائرة الالكترونية المبينة فى شكل (1−45).

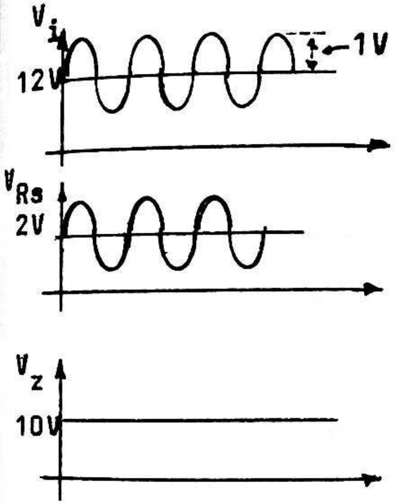
الحل :

بسبب عدم وجود مقاومة موازية لصمام زينر فإن الصمام سيحتفظ لنفسه بفرق جهد مقداره V_z = 10 V وان الباقى سيقع على R_S مع ما تحتويه من تموجات

($1\sin\omega t$) . أى تموجات عند المخرج سوف يعمل صمام زينر على عدم حدوثها بسبب خصائصه وعليه يكون شكل الاشارة كما هو مبين فى شكل (1–46) .



شكل (1–45)



شكل (1–46)

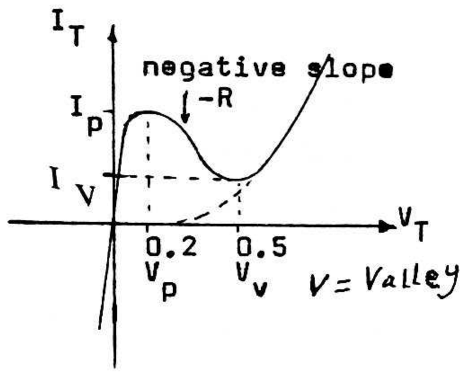
1–13) عناصر الكترونية ذات طرفين : (Two Terminal Devices)

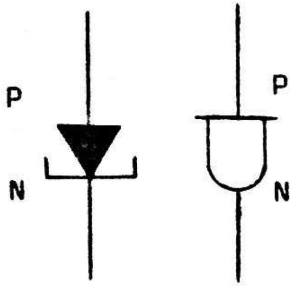
هنا سنقتصر على سرد بعض العناصر ذات طرفين مع ذكر طريقة عملها وخصائصها

أ) الصمام الثنائى النفقى : (Tunnel Diode)

هو عبارة عن صمام ثنائى عادى ولكن نسبة حقنه بالمادة الغريبة أكثر بالاف المرات منها فى الصمام الثنائى العادى وهذا يؤدى إلى صغر عرض المنطقة المفرغة من الشحنات الحره أوالحاجز الجهدى الى درجة يسهل على الأغلبية فى كل من الطرفين فى حالة التوصيل الامامى وعند استخدام فرق جهد صغير جدا بين طرفيه (أقل من 0.3 V) من الانتقال عبر نفق متخطية بذلك هذا الحاجز الجهدى الصغير ويظهر

الصمام وكأنه يخضع لقانون أوم (تشبيه غير دقيق) عند فروق جهد تتراوح ما بين 0.2V- 0 ولكن بزيادة فرق الجهد بين طرفيه فإن عرض المنطقة المفرغة من الشحنات الحرُه تأخذ فى الازدياد وعلى هذا فإن امكانية عبور الاغلبية عبرهذا النفق تتناقص بزيادة فرق الجهد بين طرفى الصمام مما يؤدى الى ميل سالب فى خصائص هذا الصمام وبعد ان يصل فرق الجهد على طرفيه إلى 0.5 V تقريبا تأخذ صفات هذا الصمام صفات الصمام العادى . شكل (1–47) يبين خصائص هذا الصمام واصطلاحه العلمى .



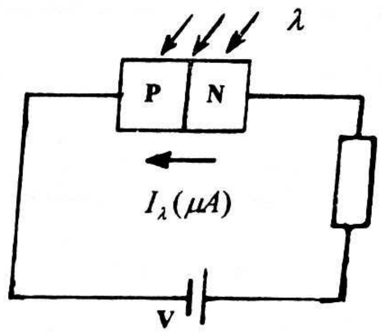


شكل (1–47) خصائص الصمام الثنائى النفقى
(Tunnel Diode)

ب) الصمام الثنائى ذو الحساسية الضوئية : (Photodiode)

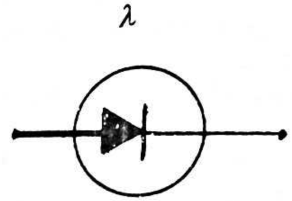
الصمام الثنائى ذو الحساسية الضوئية هو صمام عادى يمكن أن يكون مصنوع من مادة السيليكون أو الجرمانيوم أو السيلين وكما ذكرنا بأن درجة حرارة الغرفة لها تأثيرها على عدد الثقوب والالكترونات الحرة فى المادة المصنوع منها الصمام كذلك الضوء والاشعاعات المختلفة لها أيضا تأثيرها على عدد هذه الشحنات . فإذا قمنا بوضع هذا الصمام فى دائرة كهربية فى وضع مانع كما هو

مبين فى شكل (1-48) فإن التيار العكسى سوف يـزداد بزيـادة شـدة الاضـاءة على منطقة الاتصال بين المادة ذات النوعية السالبة و الموجبة .



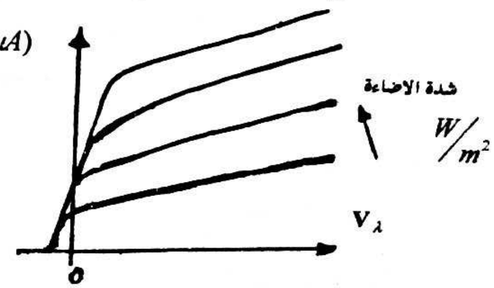
شكل (1-48)

الصمام الثنائى ذو الحساسية الضوئية وطريقة توصيله فى الدوائر الالكترونية



الاصطلاح العلمى لهذا الصمام الثنائى ذو الحساسية الضوئية

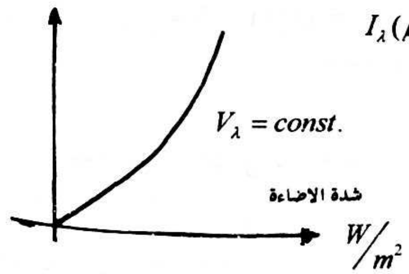
شكل (1-49) يبين خصائص هـذا الصمـام وأمـا شـكل (1-50) فيبيـن علاقـة تيـار الاقلية مع شدة الاضاءة والتى قد تكون تقريبا علاقة خطية .



شكل (1-49)

خصائص الصمام ذو الحساسية الضوئية

(Photodiode)

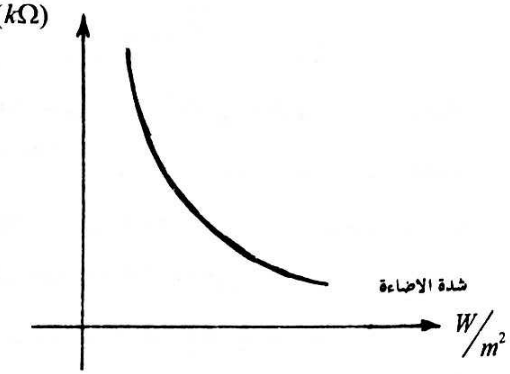


شكل (1-50)

علاقة التيار العكسى مع شدة الاضاءة

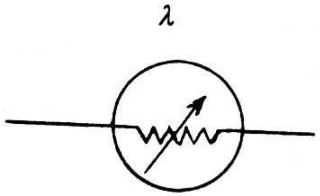
ج) المقاومة ذات الحساسية الضوئية : (photoresistive /photoconductive cell)

هـــذه المقاومـــة تصنـــع عـادة امــــا مــن مـادة الكـادميوم سـيلينيد (Cadmium Selenide CdSe) أو من مادة كبريتيد الكادميوم (Cadmium sulfide) . عند سقوط الضوء على هذه المقاومة فـإن عـدد الالكترونـات الحـرة تـزداد وبالتـالى تقـل مقاومتها وعلى هذافإن خصائصها تكون كما هو مبين فى شكل (1-51).



شكل (1-51)

خصائص المقاومة ذات الحساسية الضوئية

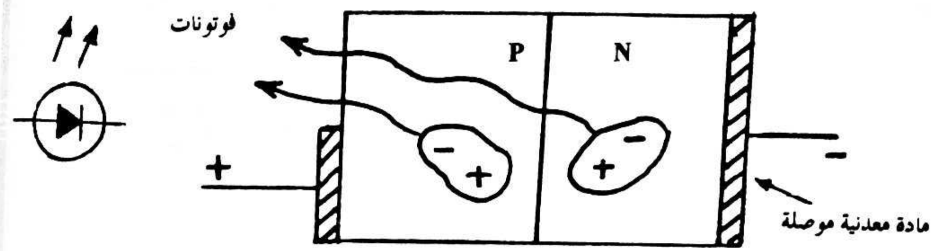


الاصطلاح العلمى للمقاومة ذات الحساسية الضوئية

د) الصمام الثنائى القابل للإشعاع الضوئى : (Light Emitting Diode (LED))

هو عبارة عن صمام ثنائى عادى ولكن المـادة المصنـوع منهـا هى فُسـفيدات الجاليوم (Gallium Phosphide, GaP) ويوصل فـى الدائـرة فـى حالـة سـامح والـذى يحدث الآن هو عندما يقوم الالكترون بالاتحـاد مـع ثقـب فـإن هنـاك طاقـة ستنبعث نتيجـة الاتحـاد . هذه الطاقة تكون فى حالة الصمامات المصنوعة من السـيليكون أو

الجرمانيوم على شكل حرارة فى حين تكون هذه الطاقة على شكل طاقة ضوئية فى حالة الصمام الثنائى المصنوع من مادة فسفيدات الجاليوم.شكل (1-52) يبين كيفية عمله وتوصيله فى الدوائر الالكترونية .



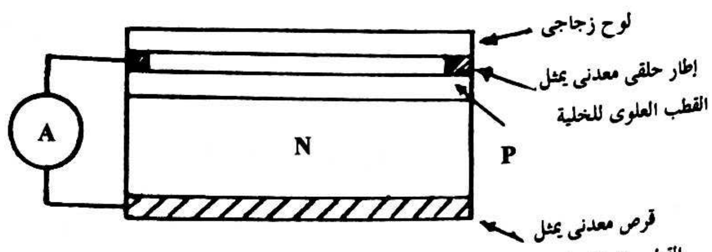
شكل (1-52) صمام ثنائى قابل للإشعاع الضوئى
(Liglt Emitting Diode LED)

هـ) الخلية الشمسية أو الخلية الكهروضوئية :
(Solar Cell or Photovoltaic Cell)

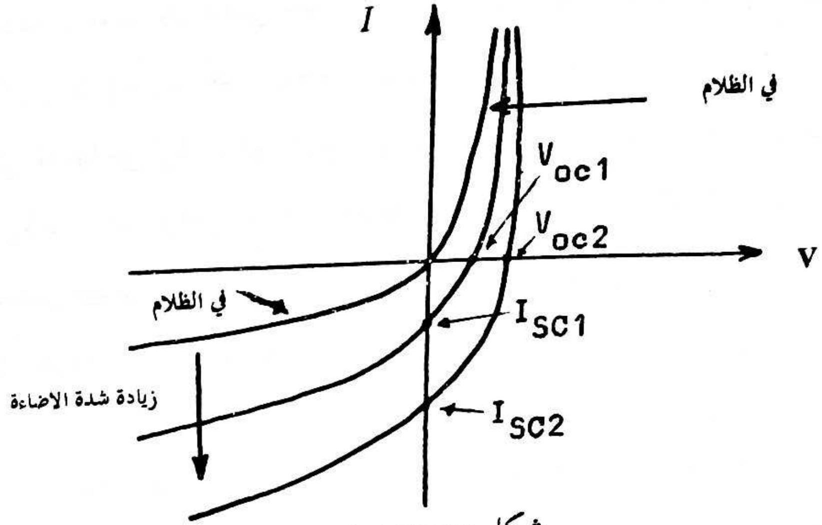
الخلية الشمسية عبارة عن ثنائى بلورى عادى مصنوع من مادة السيليكون كما هو موضح فى شكل (1-53 أ) حيث توضع بعض الاحتياطات اثناء تصنيع مثل هذا الصمام لتمكين اكبر قدر من اشعة الشمس (أو الضوء) من السقوط على سطح الخلية وكذلك للوصول إلى منطقة الاتصال بين طبقتى الصمام . من هذه الاحتياطات ان يكون سمك المنطقة العلوية المعرضة للأشعة رقيق جدا مقارنة بالمنطقة السفلى كذلك تكون المادة المعدنية المتصلة بالمنطقة العلوية لتكون قطب الخلية العلوى على شكل حلقة بدلا من قرص لتسقط الاشعة مباشرةعلى مادة شبه الموصل كما يغطى السطح العلوى للخلية بلوح زجاجى لحماية مادة شبه الموصل وقد يُطلى السطح ببعض المواد التى تساعد على امتصاص اكبر قدر ممكن من الاشعة وفكرة عمل هذا الصمام هو انه عندما تسقط اشعة الشمس على

منطقة الأتصال بين مادتي شبه الموصل ذات النوعية الموجبة والنوعية السالبة تتولد إلكترونات وثقوب حره نتيجة اكتساب مثل هذه الجسيمات لمزيد من الطاقة التى تمكنها من ترك ذراتها (روابطها المشتركة) مما يخل بحالة الاتزان الموجودة أصلا بين قطبى الخلية وعلى هذا فإن توصيل أميتر حساس بهذه الخلية اثناء تعرضها لإشعة الشمس سيشير إلى شدة تيار معين يمر خلال الخلية وبدون وضع اى جهد كهربى بين قطبيها ويفسر ذلك كما يلى :

عندما تمتص منطقة الاتصال الطاقة من الاشعة الساقطة عليها ستتواجد بعض الالكترونات الحرة فى منطقة شبه الموصل ذات النوعية الموجبة والثقوب الحرة فى المنطقة ذات النوعية السالبة مما يزيد من التيار العكس المار خلال الخلية كما هو موضح بمنحنيات الخواص أو خصائص الخلية الشمسية الموضحة فى شكل (1-53 ب) الجدير بالذكر هنا هو انه حتى تيار الأغلبية يطرأ عليه زيادة نتيجة لتعرض منطقة الاتصال لاشعة الشمس ولكن كما هو معروف ان تيار الاغلبية كبير جدا لذلك فإن الزيادة فى التيار والتى تطرأ نتيجة لتعرض الخلية للشمس تكون قليلة جدا مقارنة لنسبة الزيادة فى حالة التيار العكس (تيار الاقلية) .



شكل (1-53 أ)
تركيب الخلية الشمسية
(Solar cell/photovoltaic cell)



شكل (1–53 ب)

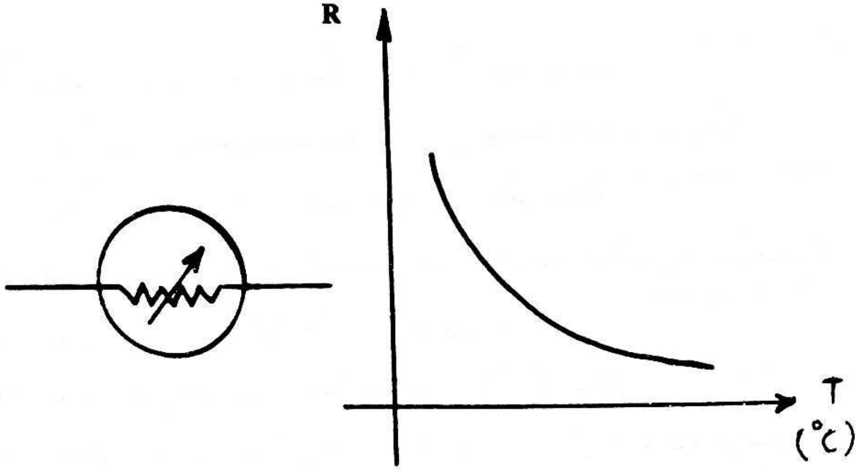
خصائص الخلية الشمسية

يلاحظ ان التيار العكسى للخلية يكاد يكون صفر فى غياب الضوء فى حين انه يزداد بزيادة شدة الاضاءة ليساوى I_{sc1}, I_{sc2},....... وهى القراءة التى يشير إليها الاميتر الحساس . كذلك يلاحظ انه يتكون فرق جهد بين طرفى الخلية قيمته (Voc) ويزداد طفيفا بزيادة شدة الاضاءة . وهذا يعلل تواجد جهد كهربى بين طرفى الخلية اثناء تعرضها للشمس .

و) المقاومة ذات الحساسية الحرارية : (Thermistors)

كما هو معروف لدينا سابقا ان حرارة الغرفة تكون سببا فى زيادة عدد الشحنات الحرة فى مادة السيليكون أو الجرمانيوم النقية اوفى مادة شبه الموصل ذي النوعية السالبة أو الموجبة ، لذافإن قطعة من احدى هذه المواد يمكن ان تستخدم كمقاومة ذات حساسية للحرارة . بعض هذه المقاومات يصنع من سبائك من عناصر

الكوبلت والنيكل والشترنسيوم أو المنجنيز . شكل (1–54) يبين خصائص هذه المقاومة واصطلاحها العلمى .



شكل (1–54)

خصائص المقاومة ذات الحساسية الحرارية

(Thermistor)

تمارين على الباب الاول

1-1) ما هو الفرق بين المادة الموصلة ، العازلة ، شبه الموصلة ؟

2-1) أعطى مثال لمادة موصلة موضحا لماذا هى موصلة جيدة للكهربية ؟

3-1) كيف يمكن ان تصبح المادة شبه موصلة مادة موصلة ؟

4-1) ما هو المقصود بالروابط المزدوجة (المشتركة) بين الالكترونات وتحت أى ظروف يمكن ان تتكون هذه الروابط بين الذرات ؟

5-1) ارسم قطاع لمادة شبه موصلة نقية موضحا التركيب الداخلى للمادة ؟

6-1) ما هو نوع الشوائب التى تحول مادة شبه الموصل الى مادة شبه موصل ذات نوعية سالبة ؟

7-1) أذكر نوع الشحنات الحرة الأغلبية وكذلك الاقلية في مادة شبه موصلة ذات نوعية سالبة .

8-1) ما هو المقصود بمادة شبه موصلة ذات نوعية موجبة ؟ ولماذا سميت بهذا الاسم ؟

9-1) ما هى الشوائب المستخدمة لتصنيع مادة شبه موصلة ذات نوع موجب .

10-1) إشرح التوصيل الكهربى خلال مادة شبه موصلة ذات نوعية سالبة ونوع التيارات المارة خلال هذه المادة ؟

11-1) كررسؤال 10 لمادة شبه موصل ذات نوعية موجبة ؟

12-1) عندما يكون الصمام الثنائى البلورى فى حالة سامح (توصيل امامى) أى القطبين يكون موجبا وأيهما سالبا ؟

13-1) ما هو سبب تكون الحاجز الجهدى (العائق) فى الصمام الثنائى البلورى فى حالة الاتزان ؟

14-1) عندما يكون الصمام الثنائى فى حالة مانع (توصيل عكسى) هل يضاف الجهد بين القطبين الى الحاجز الجهدى أو يطرح منه ؟ ولماذا ؟

15-1) ما هو تأثير التوصيل العكسى على المنطقة الخالية من الشحنات الحرة في الصمام الثنائى ؟

16-1) اشرح حركة الشحنات الحرة فى الصمام الثنائى فى حالة التوصيل العكسى ؟

17-1) ارسم منحنى خصائص الصمام الثنائى البلورى موضحا مناطق التشغيل لهذا الصمام ؟

18-1) ما هو المقصود بإنهيار زينر (Zener) إشرح ذلك تفصيليا ؟

19-1) ما هو معنى المقاومة السالبة فى الصمام الثنائى النفقى ؟ لماذا سميت كذلك ؟

20-1) ما هو المقصود بالتقويم ؟ ارسم دائرة لمقوم نصف موجى موضحا شكل الموجة الداخلة والخارجة لهذه الدائرة .

21-1) اشرح نظرية عمل الصمام الثنائى القابل للإشعاع الضوئى .

22-1) فرق بين الصمام الثنائى ذو الحساسية الضوئية والخلية الشمسية من حيث التركيب وفكرة العمل .

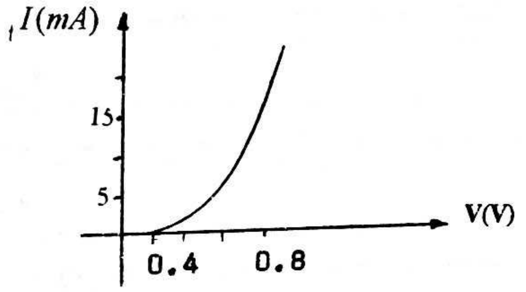
23-1) اذا كان التيار الكهربى المار بين قطبى صمام ثنائى هو 1mA عندما كان فرق الجهد بين قطبيه هو 0.5 V عند درجة حرارة 27°c . أوجد تيار التشبع العكسى Is لهذا الصمام .

24-1) دائره مكونة من صمام ثنائى جيرماني ومقاومة قيمتها 120Ω وبطارية قوتها الدافعة الكهربية 1.5 V على التوالى ،فإذا كان التيار المار فى الدائرة هو 10mA

فكم يكون جهدالبطارية اللازم استخدامها ليكون التيار المار في الدائرة مساويا 0.05A .

1-25) أوجد التيار المار فى الصمام الثنائى السيليكونى عند درجة حرارة 27°c اذا كان الجهد بين قطبيه هو 0.5 V وقيمة Is= 50μA .

1-26) أوجد قيمة المقاومة الأستاتيكية للصمام الثنائى عندما يمر تيار خلاله مقداره 20mA . إستخدم منحنى الخصائص الموضح فى شكل (1-55) .



شكل (1-55)

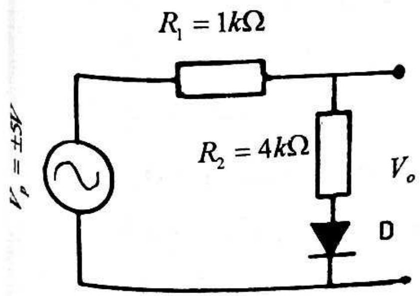
1-27) استخدم منحنى الخصائصى الموضح فى شكل (1-55) أوجد قيمة المقاومة المتوسطة للثنائى عندما يتغير فرق الجهد (V) من 0.4 الى 0.6 فولت .

1-28) فى الدائرة الموضحة فى شكل (1-56)

أوجد Vo ، I ، V_D .

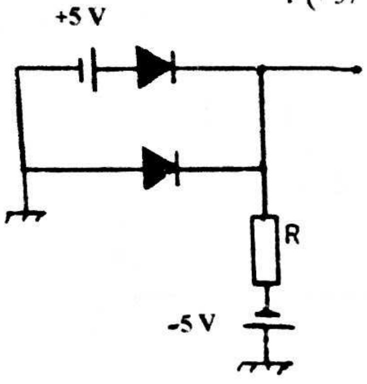
أ – اعتبر الصمام الثنائى مثالـى .

ب- اعتبر الثنائى سيليكونى مقاومته المتوسطة 20Ω.

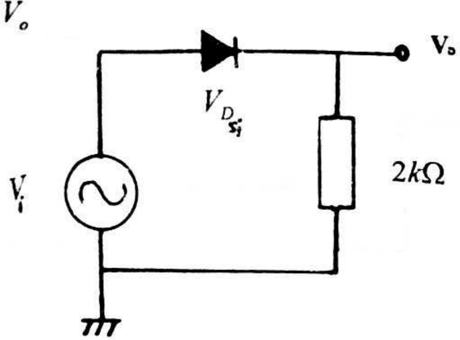


شكل (1-56)

1-29) اوجد V_o للدائرة الموضحة فى شكل (1-57 أ) .



شكل (1-57 أ)



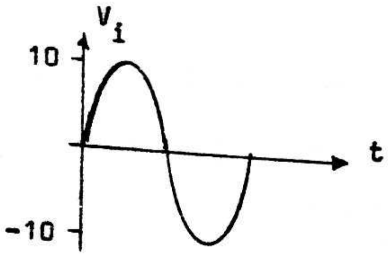
شكل (1-57ب)

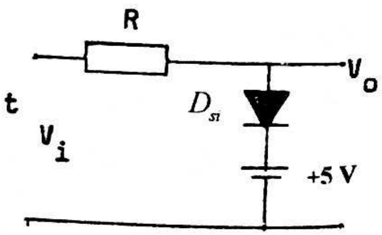
1-30) للدائرة الموضحة فى شكل (1-57ب) اذا كانت القيمة المتوسطة للموجة الخارجة هى 4 V ومقاومة الصمام r_{av}= 30 Ω . أرسم الشكل الموجى V_i ، V_D ، V_o افترض ان الجهدالداخل موجه جيبية ترددها 50 Hz .

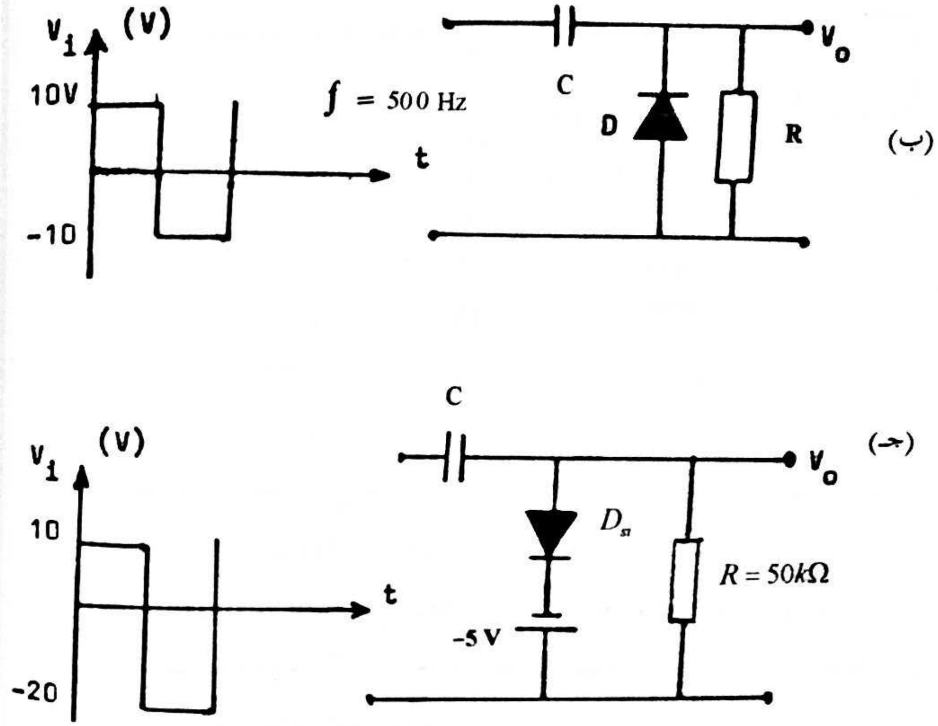
1-31) صمم مقوم موجى كامل للحصول على جهد ثابت قيمته 6V باستخدام مصدر جهد متردد قيمته الفاعلة V_{rms} = 40 V.

1-32) ارسم شكل الموجة الخارجة لكل من الدوائر الإلكترونية الموضحة في شكل (1-58) .

(أ)

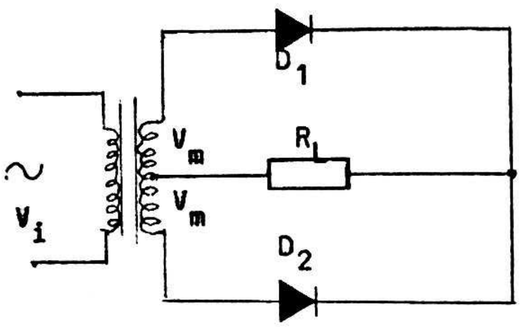






شكل (1-58)

1-33) تمثل الدائرة فى شكل (1-59) مقوم موجى كامل باستخدام محول طرفى متوسط . اشرح كيف يتم التقويم الموجى الكامل بواسطة هذه الدائرة . افترض ان جهد المصدر هو موجة جيبية ذورتها V_m وترددها f.



شكل (1-59)

الباب الثانى

الترانزيستور

Bipolar Junction Transistors (BJT's)

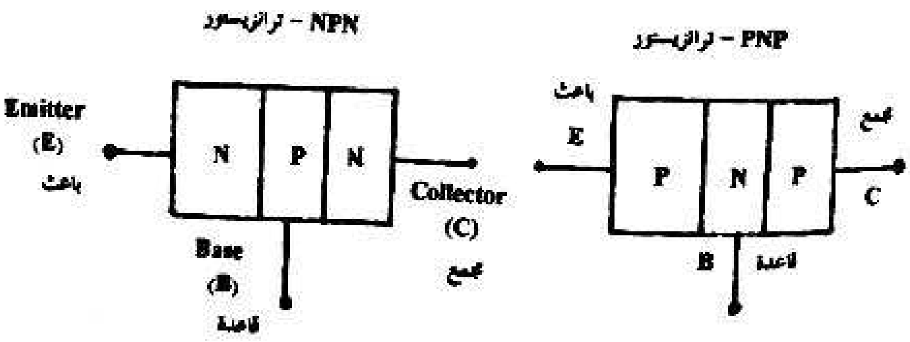
الباب الثانى

الترانزيستور

Bipolar Junction Transistor (BJT)

2–1) تركيب الترانزيستور : (Transistor Construction) .

يتركب الترانزيستور اما من طبقتين من مادة ذات نوعية سالبة (N) بينهما طبقة من مادة ذات نوعية موجبة (P) وفى هذه الحالة يسمى الترانزستور نوع (NPN) او من طبقتين من مادة ذات نوعية موجبة (P) بينهما طبقة ذات نوعية سالبة (N) وفى هذه الحالة يسمى الترانزيستور نوع (PNP) كما هو مبين فى شكل (2–1) .



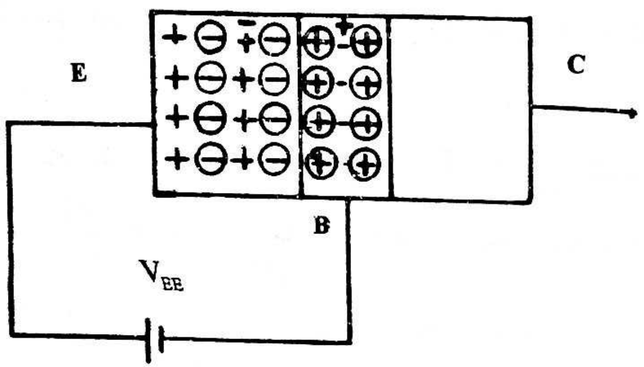
شكل (2–1) تركيب الترانزستور

تسمى الطبقة المتوسطة قاعدة الترانزستور واحدى الطبقتين الخارجيتين تسمى الباعث اما الاخرى فتسمى المجمع ومن المعتاد أن يكون سمك القاعدة (ولاسباب سنذكرها فيما بعد)رقيقاً جدا كما ان نسبة الحقن بالشوائب أونسبة الشحنات الحره فيها يكون قليلا جدا مقارنة بالموجودة فى كل من الباعث والمجمع

2-2) كيفية عمل الترانزستور (Transistor Operation)

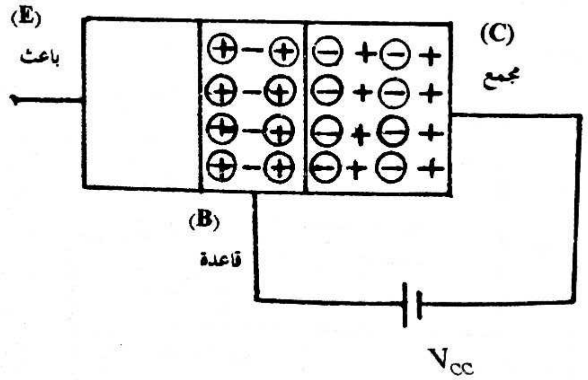
سنقتصر هنا بشرح كيفية عمل ترانزيستور نوع PNP وأما كيفية عمل ترانزيستور نوع NPN فهى مشابهه لتلك نوع PNP حيث يوصل الباعث بالقطب الموجب لمصدر كهربى بينما القاعدة فتوصل بالقطب السالب كما فى شكل (2-2). تكون القاعدة (Base , B) مع الباعث (Emitter , E) صمام ثنائى وموصل فى هذه الحالة مع البطارية فى حالة سامح معنى هذا أن الثقوب (الاغلبية فى الباعث) قادرة على عبور منطقة الاتصال إلى القاعدة حيث أن الثقوب فيها أقلية لانها مكونة من مادة ذات نوعية سالبة كما هو موضح فى شكل (2-2) ، الآن ابعد المصدر الكهربى من مكانه وأوصله كما هو مبين فى شكل (2-3) هنا الصمام الثنائى المتكون من كل من القاعدة والمجمع (Collector , C)موصل فى حالة مانع معنى هذا أن الاقلية فى كلا الجانبين هى الشحنات الوحيدة التى تستطيع أن تمر خلال منطقة الاتصال. الآن استخدم مصدرين كهربيين لتوصيل كل من الصمامين فى آن واحد كما هو مبين فى شكل (2-4).الصمام الثنائى (EB) فى حالة سامح فهو يمرر الاغلبية (الثقوب) من الباعث إلى القاعدة ولكن الصمام (CB) فى حالة مانع فهو يمرر الاقلية فقط (الثقوب) لهذا فإن الثقوب القادمة من الباعث ستعتبر أقلية فى منطقة القاعدة

وبالتالى سوف تتجه من خلال منطقة الاتصال بين القاعدة والمجمع وبدون نقص كبير فى عددها إلى المجمع ←



شكل (2-2)

طريقة توصيل الترانزيستور (الباعث والقاعدة)



شكل (2-3)

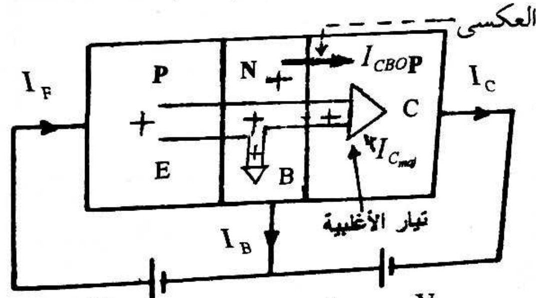
طريقة توصيل القاعدة والمجمع فى الترانزيستور نوع PNP

دون ان تتجه إلى القطب السالب للبطارية (V_{EE}) الموصل بالقاعدة وذلك للاسباب الآتية :

أ) قصر منطقة القاعدة مما يجعل الاقلية فيها (الثقوب) الموجودة الآن فى القاعدة تمر عبر مقاومتها الصغيرة $\left(R=\rho\frac{L}{A}\right)$ إلى المجمع دون المرور خارج القاعدة (إلى سالب V_{EE}) .

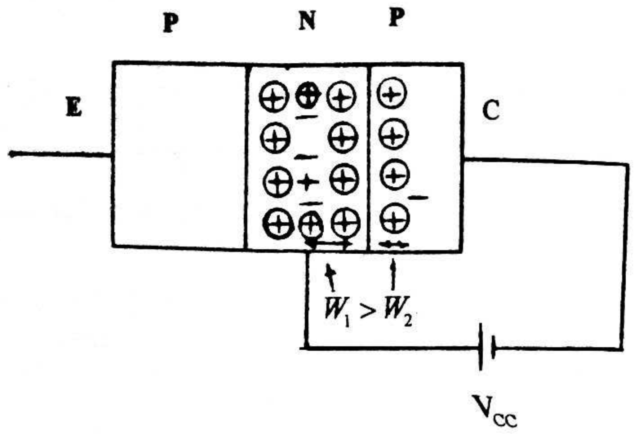
ب) قصر منطقة القاعدة يعنى أن الزمن اللازم لكى تقطع الثقوب هذه المسافة يكون قصيرا $\left(t=\frac{l}{V}\right)$ وبالتالى احتمال تعادلها (اتحادها) مع الكترونات القاعدة يكون ضعيفا .

جـ) نظرا لقلة نسبة عدد شحنات الاغلبية فى القاعدة (الالكترونات) مقارنة بتلك الموجودة فى الباعث والمجمع يؤدى إلى تناقص احتمال اتحادالالكترونات الموجودة فى القاعدة مع الثقوب القادمة لها من القاعدة (Recombination Process) أضف إلى ذلك ان المنطقة المفرغة من الشحنات الحرة بين القاعدة والمجمع تكون واقعة معظمها فى القاعدة وجزء قليل فى المجمع (نتيجة لاختلاف نسبة المزج بالشوائب لمادتى القاعدة والمجمع) مما يؤدى إلى تقليل سمك القاعدة كما هو موضح فى شكل (2-5) حيث $W_1 > W_2$



شكل (2-4)

طريقة توصيل الترانزيستور بأقطابه الثلاثة القاعدة ، الباعث ، المجمع



شكل (2-5)

منطقة الحاجز الجهدى واقع معظمها فى القاعدة W_1

وجزء صغير فى المجمع W_2 $(W_1 > W_2)$

الشحنات الحره التى يمكن ان تعبر المنطقة المفرغة من الشحنات (Depletion Region) أو الحاجز الجهدى بين القاعدة والمجمع هى الأقلية الموجودة فعلا نتيجة درجة حرارة الغرفة وسنطلق علىهذا التيار بالتيار المار بين القاعدة والمجمع عندما يكون الباعث مفتوحاً اى I_{CBO} وكذلك الاغلبية القادمة من الباعث (الثقوب) $I_{C_{maj}}$ وعلى هذا يكون تيار المجمع (I_C) هو عبارة عن

$$I_C = I_{C_{maj}} + I_{CBO} \qquad (1-2)$$

وبتطبيق قاعدة كيروشوف للتيار على شكل (2-4) نحصل على

$$I_E = I_C + I_B \qquad (2-2)$$

فــى الدائــرة الموجودة فــى شكــل (2-4) نشاهد أن القـاعدة هـى القطب المشـترك بـين البـاعث والمجمـع وبهـذا نسـمى هـذه الدائـرة دائـرة القـاعدة المشـتركة (Common Base Configuration) (CBC) .

تعريف : (**Definition**)

حاصل قسمه التغير فى تيار المجمع ΔIc (التيار الخارج ، المكتسب) علــى التغير فــى تيــار الباعث ΔI_E (التيـــار الداخـل) يسـمى معـامل تقويـة التيـار (Current amplification factor (α))

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \qquad V_{CB} = Constant \qquad (3-2)$$

$$\alpha = 0.9, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, 0.998$$

$$\alpha \cong \frac{I_{C_{maj}}}{I_E} \Rightarrow I_{C_{maj}} = \alpha I_E \qquad (4-2)$$

بتعويض (2-4) فى (2-1) نحصل على :

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$$

2-3) خصائص الترانزيستور وطرق توصيله فى الدوائر الالكترونية

يوجد ثلاثة أطراف للترانزيستور : اثنان منهمـا يمكـن ان يكونـا المدخـل امـا المخرج فيتكون حينئذ من الطرف الثالث المتبقى مع أحد طرفى المدخـل اى أن هنـاك طرفاً يكون دائما مشتركا بين المدخل والمخرج لهذا يوجد ثلاث طرق مختلفة لتوصيل الترانزيستور فى الدوائر الالكترونية .

أ) الطريقة الأولى : عندما تكون القاعدة هى المشـتركة بـين المدخـل والمخـرج وسـنطلق علـى هـذا النـوع مـن التوصيـل دائـرة القـاعدة المشتركة (Common Base Configuration (CBC)).

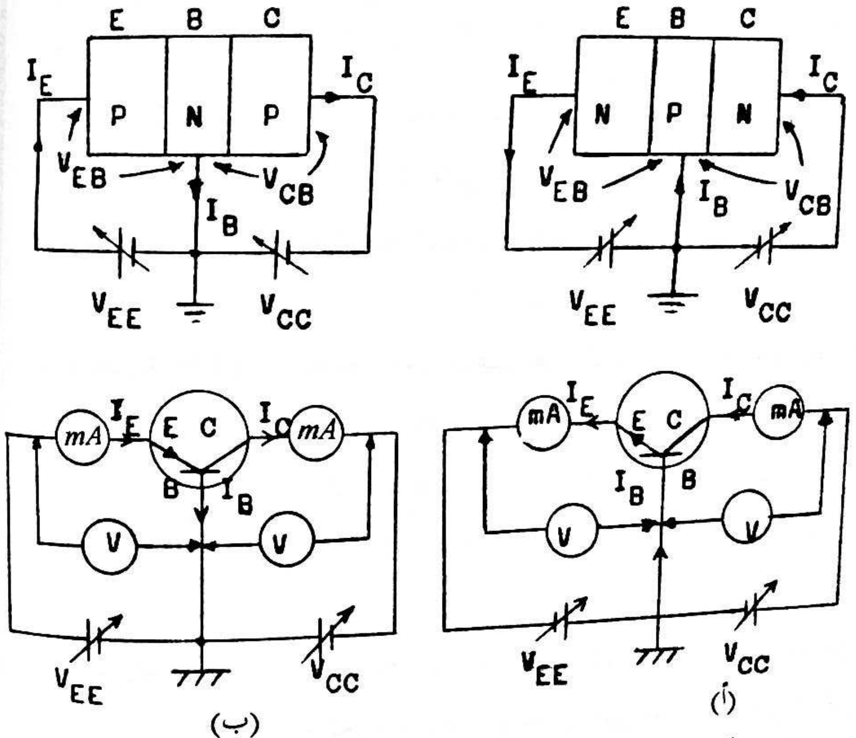
ب) الطريقة الثانية : عندما يكون الباعث هـو المشـترك بـين المدخـل (القـاعدة) والمخرج (المجمع) وسنطلق على هـذا النـوع مـن التوصيـل دائـرة البـاعث المشـترك (Common Emitter Configuration (CEC).

جـ) الطريقة الثالثة : عندما يكـون المجمـع هـو المشـترك بـين المدخـل (القـاعدة) والمخرج (الباعث) وسنطلق على هذا النـوع مـن التوصيـل دائرة المجمع المشترك.
(Common Collector Configuration or Emitter Follower, CCC)

والآن سندرس خصائص كل طريقة على حده :

أ) دائرة القاعدة المشتركة (CBC) :

الدائرة المبينة فى شكل (2−4) هى دائرة القاعدة المشتركة (CBC) والآن سنعيد رسم هذه الدائرة مع توضيح اتجاه التيار فى كل طرف من أطراف الترانزيستور مع رسم الاصطلاح العلمى له .



شكل (2−6) دائرة ترانزيستور ذات القاعدة المشتركة

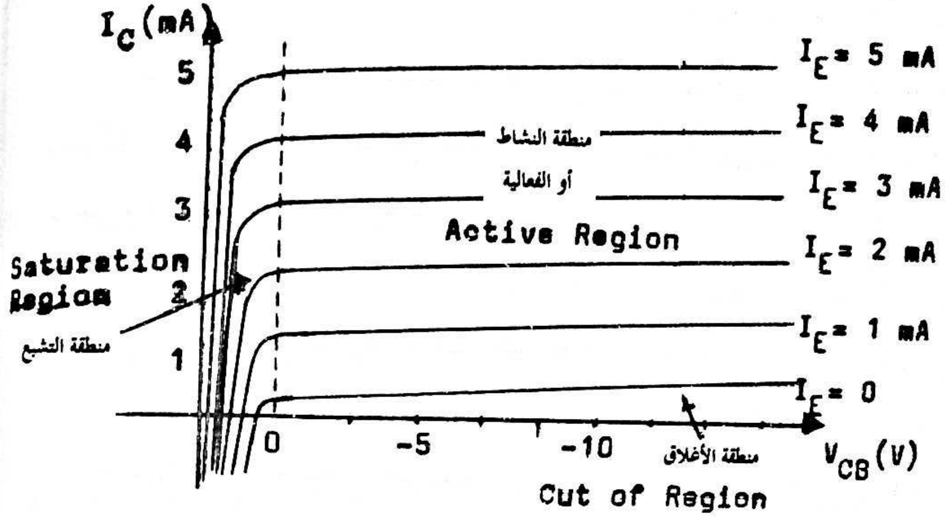
أ) NPN ترانزيستور مع اصطلاحه العلمى

ب) PNP ترانزيستور مع اصطلاحه العلمى

من الاشكال السابقة نشاهد ان لهذه الدائرة مدخلاً ومخرجاً وأن القاعدة مشتركة بينهما ، ولمعرفة خصائص هذه الدائرة سيكون هناك خصائص خاصة بدائرة المدخل وخصائص خاصة بدائرة المخرج .

خصائص دائرة المخرج لدائرة القاعدة المشتركة :

حيث ان دائرة المخرج يمر بها تيار I_C وان هناك فرق جهد واقع بين القاعدة والمجمع (V_{CB}) لذا فإن ايجاد علاقة (I_C) مع (V_{CB}) سيعطينا خصائص دائرة المخرج وحيث أن دائرة المخرج ودائرة المدخل غير معزولتين تماما عن بعضهما البعض بل أن كل منهما تتأثر بالأخرى لذا فإن هذه الخصائص ستتغير بتغير التيار المار فى دائرة المدخل (I_E) أو بتغير الجهد الواقع بين الباعث والقاعدة (V_{EB}) لذلك يجب أن يؤخذ فى الاعتبار كل القيم الممكنة لأحد هذين المتغيرين فى دائرة المدخل عند دراسة العلاقة بين تيار المخرج I_C والجهد بين القاعدة والمجمع (V_{CB}) فتكون خصائص دائرة المخرج هى عبارة عن مجموعة منحنيات تمثل العلاقة بين (V_{CB}, I_C) عند قيم مختلفة لتيار الباعث كما هو مبين فى شكل (2−7) هذه المجموعة من المنحنيات تسمى خصائص دائرة المخرج لدائرة ترانزيستور نوع PNP ذي قاعدة مشتركة .



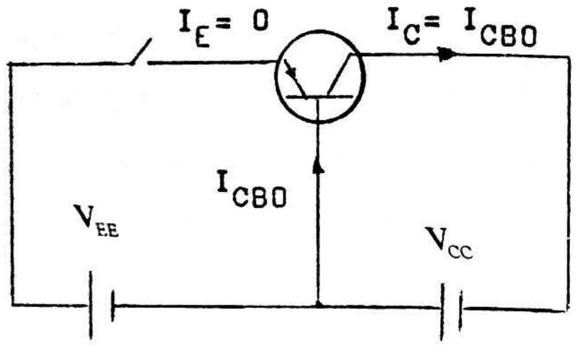
شكل (2−7)

خصائص دائرة المخرج لترانزيستور PNP ذو قاعدة مشتركة

من الشكل السابق نجد ان منطقة المنحنيات مقسمة إلى ثلاث مناطق :

1) منطقة الاغلاق : (Cutoff Region)

تكون فيها منطقة الاتصال بين القاعدة والمجمع فى حالة مانع اما دائرة المدخل فتكون مفتوحة اى ان $I_E = 0$ وبالتالى يكون تيار المجمع I_C يساوى فقط التيار العكسى والذى سنطلق عليه رمز I_{CBO} وهوالتيار العكسى بين القاعدة والمجمع عندما تكون دائرة الباعث مفتوحة وقيمته بالميكروامبير أو بالنانوامبير انظر شكل (2−8) .



شكل (2−8)

دائرة الترانزيستور نوع PNP تعمل فى منطقة الإغلاق

2) منطقة التشبع (Saturation Region)

فى منطقة التشبع تكون كل من منطقتى الاتصال بين القاعدة والمجمع وكذلك بين القاعدة والباعث فى حالة سامح وعلى هذا نحصل على الارتفاع العمودى تقريبا فى المنحنى ولهذا فإن الترانزيستور يكون فى حالة سامح .

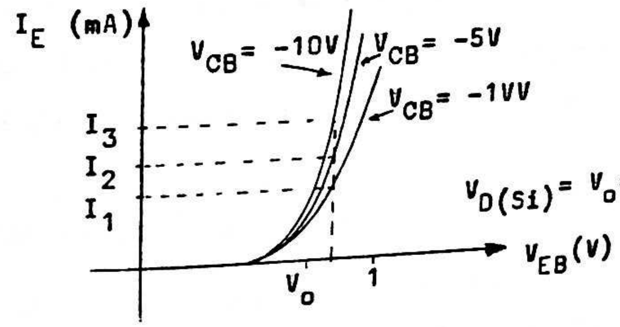
3) منطقة الفعالية أو النشاط : (Active Region)

فى هذه المنطقة تكون منطقة الاتصال بين المجمع والقاعدة فى حالة مانع فى حين تكون منطقة الاتصال بين الباعث والقاعدة فى حالة سامح ونشاهد هنا أن I_C يساوى تقريبا I_E حيث ان $\alpha = 0.9, \ldots\ldots\ldots\ldots 0.998$, $I_C = \alpha I_E$.

زد على ذلك أن I_C لا تتغير كثيرا بتغير قيمة فرق الجهد بين المجمع والقاعدة ولذا فإن هذه المنطقة هى المنطقة التى نسعى دائما لكى يبقى الترانزيستور يعمل بها فى حالة دوائر التقوية لانها أقل المناطق تأثرا بالتغيرات الخارجية زد على ذلك أن علاقة I_C مع V_{CB} هى علاقة خطية عند ثبوت I_E . فى شكل (2-7) نجد ان V_{CB} لها قيم سالبة وذلك لاتصال المجمع بالقطب السالب للبطارية .

خصائص دائرة المدخل لدائرة القاعدة المشتركة

هذه الخصائص تمثل العلاقة بين تيار الباعث I_E والجهد الواقع بين الباعث والقاعدة (V_{EB}) عند قيم مختلفة للجهد الواقع بين المجمع والقاعدة V_{CB} حيث نثبت فرق الجهد بين المجمع والقاعدة V_{CB} عند قيمة معينة ونغير فرق الجهد بين الباعث والقاعدة (V_{EB}) ونعين فى كل مرة قيمة تيار الباعث I_E فنحصل على المنحنيات فى شكل (2-9) .

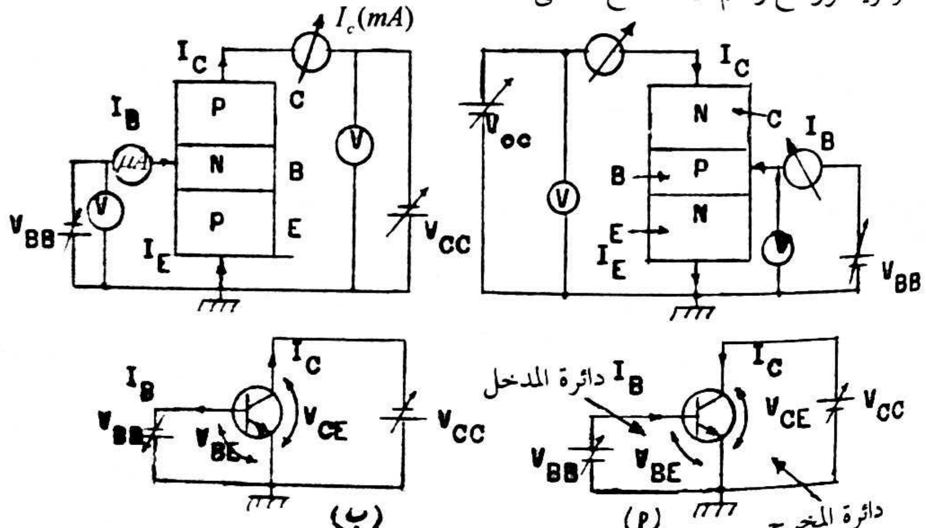


شكل (2-9) خصائص دائرة المدخل لترانزيستور نوع PNP ذو قاعدة مشتركة

حيث ان دائرة المدخل تتكون من القاعدة والباعث وان هذا الصمام يكون فى حالة سامح وحيث ان $I_E \cong I_C$ فعند تثبيت فرق الجهد V_{EB} عند قيمة معينة وتغير فرق الجهد V_{CB} نلاحظ ان تيار الباعث وبالتالى تيار المجمع يزداد زيادة طفيفة بزيادة فرق الجهد V_{CB} وذلك لزيادة عرض المنطقة المفرغة من الشحنات المتكونة بين المجمع والقاعدة وتكون هذه المنطقة واقعة أكثر فى منطقة القاعدة منها فى المجمع وهذا يؤدى إلى صغر عرض القاعدة المؤثر وبالتالى زيادة تيار المجمع انظر شكل (2-9) .

ب) دائرة الباعث المشترك : Common Emitter Configuration (CEC)

شكل (2-10) يوضح كيفية توصيل ترانزيستور بحيث يكون الباعث مشتركا بين دائرة المدخل والمخرج ويوضح أيضا اتجاه التيار فى كل طرف من أطراف الترانزيستور مع رسم الاصطلاح العلمى له .



شكل (2-10) دائرة ترانزيستور ذو باعث مشترك

أ) NPN ترانزيستور مع اصطلاحه العلمى ب) PNP ترانزيستور مع اصطلاحه العلمى

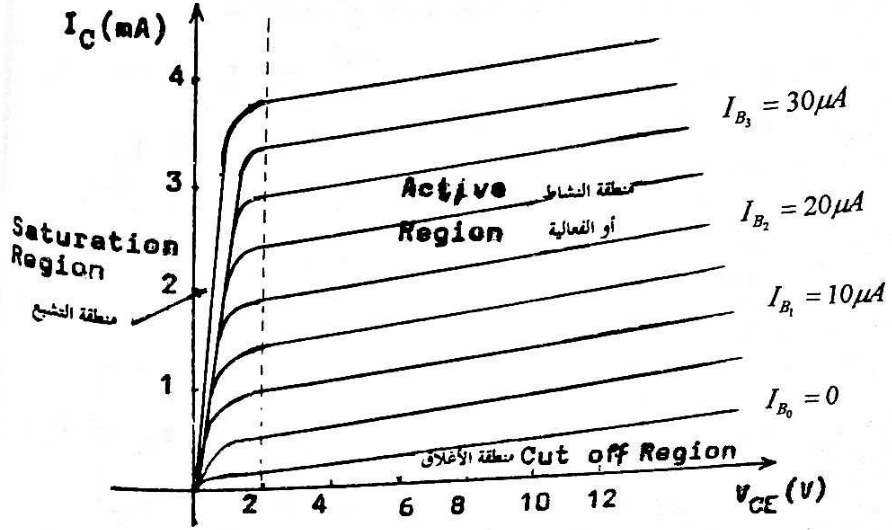
هنا أيضا يوجد لكل دائرة من الدوائر السابقة مدخل ومخرج فالمدخل يتكون من القاعدة والباعث اما المخرج فيتكون من المجمع والباعث ولهذا تسمى هذه الدائرة بدائرة الباعث المشترك . يوجد خصائص خاصة بالمدخل وأخرى بالمخرج .

خصائص دائرة المخرج لترانزيستور ذى باعث مشترك

خصائص دائرة المخرج هى علاقات تربط تيار المخرج اى تيار المجمع (I_C) مع فرق جهد المخرج وهو فرق الجهد بين المجمع والباعث V_{CE} مع تثبيت تيار المدخل وهو تيار القاعدة (I_B) و يمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة الرياضية الآتية

$$I_C = f(V_{CE}) \quad \text{and} \quad I_B \text{ as Parameter}$$

خصائص دائرة المخرج مبينة فى شكل (2−11)



شكل (2−11)

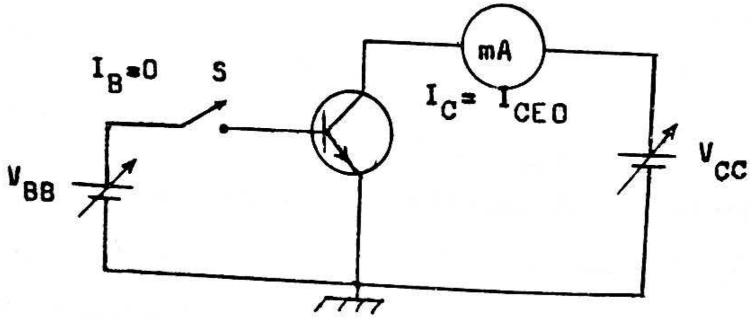
خصائص دائرة المخرج NPN ترانزيستور

ذو باعث مشترك

من الشكل السابق نجد أن منطقة المنحنيات مقسمة الى ثلاث مناطق كما فى شكل (2−7) الخاص بدائرة القاعدة المشتركة وهذه المناطق هى :

1) منطقة الإغلاق (Cutoff Region)

هى المنطقة التى يكون فيها تيار القاعدة I_B يساوى صفر كما هو مبين فى شكل (2−12).فى هذه المنطقة وهذه الدائرة التيار الوحيد الذى يمر فى المجمع والذى سنسميه فى هذه الحالة I_{CEO} اى التيار المار من المجمع الى الباعث فى حالة NPN ترانزيستور وبالنسبة لتيار الالكترونات هو التيار المار من الباعث الى المجمع عندما تكون القاعدة مفتوحة اى ان $I_B = 0$ كما هو موضح فى شكل (2−12)



شكل (2−12)

دائرة الباعث المشترك عندما تكون دائرة المدخل مفتوحة اى $I_B = 0$

باستخدام العلاقات (2−1) ، (2−2) نحصل على :

$$I_C = I_{C_{maj}} + I_{CBO} \qquad I_E = I_C + I_B$$

$$\alpha = \frac{I_{C_{maj}}}{I_E} \; Or \qquad I_E = \frac{I_{C_{maj}}}{\alpha}$$

$$\frac{I_{C_{maj}}}{\alpha} = I_{C_{maj}} + I_{CBO} + I_B$$

عندما يكون $I_B = 0$ فإن $I_{C_{maj}}$ يسمى I_{CEO} وعلىهذا يمكن كتابة ما يلى :

$$\frac{I_{CEO}}{\alpha} = I_{CEO} + I_{CBO} + 0$$

$$\left(\frac{1}{\alpha} - 1\right) I_{CEO} = I_{CBO} \; Or \; \frac{I_{CEO}}{I_{CBO}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} - 1}$$

$$\frac{I_{CEO}}{I_{CBO}} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \qquad (6-2)$$

لنفرض أن $\alpha = 0.995$ بالتعويض فى العلاقة

$$\frac{I_{CEO}}{I_{CBO}} = \frac{0.995}{0.005} = 199 \qquad (6-2)$$

من هذه النتيجة نلاحـظ ان تيـار الترانزيسـتور (Ic) عندمـا تكـون القـاعدة مفتوحـة $(I_B = 0)$ اكبر بكثير من تيار الترانزيستور عندما يكون الباعث مفتوح $(I_E = 0)$فـى حالة دائرة القاعدة المشتركة .

2) منطقة النشاط أو الفاعلية : (Active Region)

فى شكل (2-11) نشاهد أن هناك أيضا وكما هو الحـال فـى شـكل (2-7) منطقة الفعاليةوهى المنطقة التى يعمل فيها الترانزيستور فى كثير من الدوائر الالكترونية وفيها تكون منطقـة الاتصال بـين القـاعدة والبـاعث فـى حالـة سـامح بينمـا المجمع والقاعدة فى حالة مانع .

3) منطقة التشبع (Saturation Region)

هى المنطقـة الـتى يكـون فيها الترانزيسـتور فى حالة سامـح وهـى تقـع فـى المنطقة $(V_{CE} \approx 0.2V)$ عند تثبيت تيار القاعدة I_B بقيمة معينة.

كما فعلنا فى تعريف (α) فى حالة دائرة القاعدة المشتركة نقوم بتعريف β وهـى مـا يسمى (Common Emitter forward current amplification factor) وتعنـى معـامل تقويـة التيار فى دائرة الباعث المشترك وهى عبارة عن حاصل قسمة التغير فـى تيـار المخـرج (ΔI_C) مقسوما على التغير فى تيار المدخـل (ΔI_B) عندمـا يكـون فـرق الجهـد V_{CE} ثابت :

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \qquad V_{CE} = Constant \qquad (7-2)$$

معامل β فى هذه الحالة يسمى β الديناميكية (Dynamic Value) أو $ac-\beta$.حيـث ان العلاقة التى تربط I_C مع I_B علاقة خطية تقريبا لهذا فإن العلاقـة (2-7) يمكـن ان تكتب كما يلى :

$$\beta \cong \frac{I_C}{I_B} \qquad (8-2)$$

(β) تسمى فى هذه الحالة β الاستاتيكية (Static Value) أو $(dc-\beta)$. تتراوح قيـم (β) ما بين 20-800 أو اكثر من ذلك .

الآن نريد ان نجد علاقة تربط بين β,α وعلى هذا نتبع ما يلى :

$$I_E = I_C + I_B \qquad , \qquad I_C = I_{Cmaj} + I_{CBO}$$

$$I_E = \frac{I_{C_{maj}}}{\alpha} \qquad , \qquad I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$\frac{I_{C_{maj}}}{\alpha} = I_C + \frac{I_C}{\beta} = I_C\left(1+\frac{1}{\beta}\right)$$

$$= \left(I_{C_{maj}} + I_{CBO}\right)\left(1+\frac{1}{\beta}\right)$$

ولكن $I_{CBO} \cong 0$ لهذا نحصل على ما يلى :

$$\frac{I_{C_{maj}}}{\alpha} = I_{C_{maj}}\left(1+\frac{1}{\beta}\right)$$

$$\frac{1}{\alpha} = 1+\frac{1}{\beta} = \frac{\beta+1}{\beta}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta} \qquad (9-2)$$

$$\frac{1}{\alpha} - 1 = \frac{1}{\beta}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \qquad (10-2)$$

من العلاقة (6-2) حصلنا على :

$$\frac{I_{CEO}}{I_{CBO}} = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

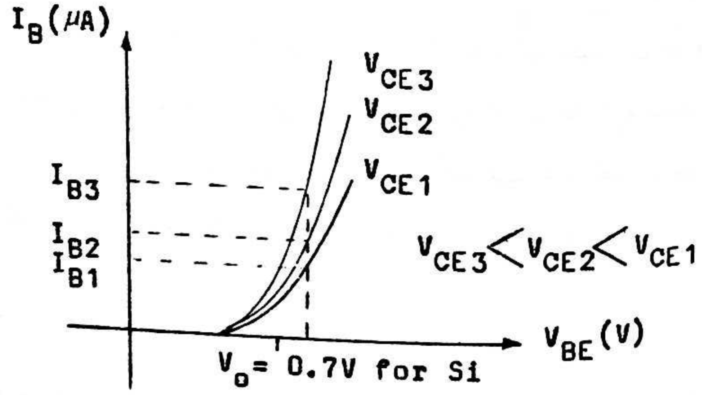
وبالمقارنة مع (10-2) نجد أن

$$\frac{I_{CEO}}{I_{CBO}} = \beta \qquad (11-2)$$

خصائص دائرة المدخل لدائرة الباعث المشترك :

من شكل (10-2) نلاحظ ان مدخل دائرة الباعث المشترك تتكون من القاعدة والباعث . لكى نحصل على خصائص هذه الدائرة وجب علينا أن نجد علاقة تيار القاعدة (I_B) مع فرق الجهد الواقع بين القاعدة والباعث (V_{BE}) مع تثبيت احد المتغيرات فى دائرة المخرج وهى إما (Ic) ، (V_{CE})ولقد اتفق على تثبيت (V_{CE}) اى أن $I_B = f(V_{BE})$ and V_{CE} as Parameter

وعلى هذا نحصل على شكل (13-2) .



شكل (13-2)

خصائص دائرة المدخل

لترانزيستور NPN ذو باعث مشترك ومصنوع من مادة السيليكون

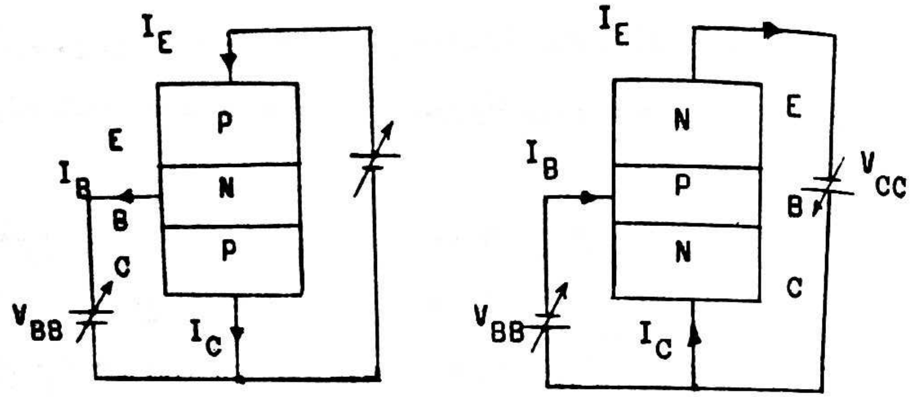
من شكل (2-13) نرى ان خصائص المدخل لدائرة الباعث المشترك شبيه بخصائص الصمام الثنائى وهذا صحيح لإن القاعدة والباعث يشكلان معا صمام ثنائى فى حالة سامح . نلاحظ ايضا من الشكل انه عندما تزداد قيمة V_{CE} يقل تيار القاعدة I_B عند ثبوت قيمة الجهد (V_{BE}) والسبب فى ذلك ان المنطقة المفرغة من الشحنات بين المجمع والقاعدة تكون فى حالة مانع وان معظم هذه المنطقة تكون واقعة فى القاعدة ويزداد عرضها بزيادة فرق الجهد (V_{CE}) وعلى هذا يقل التيار (I_B) .

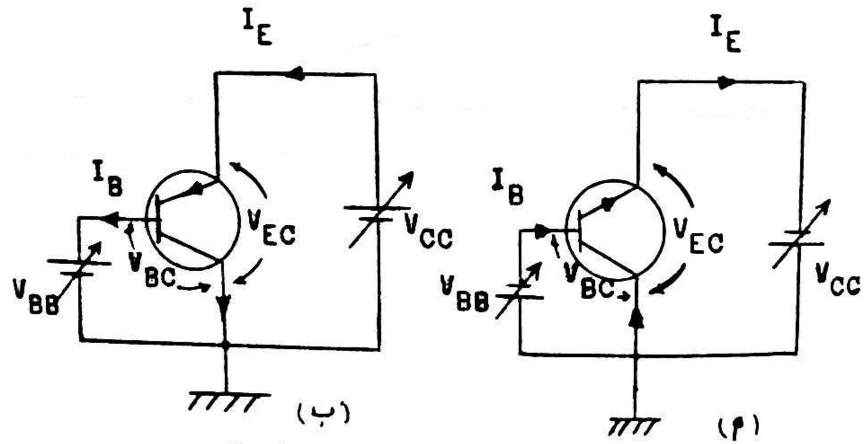
جـ) دائرة المجمع المشترك : (Common Collector Configuration)

Or (Emitter Follower)

شكل (2-14) يبين دائرة المجمع المشترك ونشاهد أن دائرة المخرج تتألف من تيار الباعث (I_E) حيث ($I_E \cong I_C$) وفرق الجهد ($V_{EC} = -V_{CE}$) حيث ان طرف الباعث متصل بالقطب السالب للبطارية فى حالة الترانزيستور NPN اما دائرة المدخل فتتألف من تيار القاعدة (I_B) وفرق الجهد (V_{BE}) وعلى هذا فإن خصائص المخرج لدائرة المجمع المشترك هى نفس خصائص دائرة الباعث المشترك مع الأخذ بعين الاعتبار الملاحظات الآنفة الذكر .

تستخدم دائرة المجمع المشترك لتوصيل الدوائر الإلكترونية بعضها مع بعض عن طريق هذه الدائرة وذلك لأن لها مدخل ذو مقاومة عالية وأما مخرجها فله مقاومة صغيرة (Impedence Matching)





شكل (2-14) دائرة المجمع المشترك

أ_ لترانزيستور نوع NPN

ب– لترانزيستور نوع PNP

2-4) اكبر قدرة للترانزيستور :

فى الجداول الخاصة بالترانزيستور تُعطى عادة اكبر قدرة يمكن أن يتحملها الترانزيستور وكذلك اكبر تيار للمجمع وأكبر فرق جهد يمكن أن يتحمله

الترانزيستور بين الباعث والمجمع وذلك فى حالة دائرة الباعث المشترك ، لنفرض ان الارقام الاتية قد أُخذت من جداول الترانزيستور ولترانزيستور معين :

(القدرة الكبرى)	$P_{C\max} = 60mw$
اكبر تيار للمجمع	$I_{C\max} = 10mA$
أكبر فرق جهد يمكن ان يتحمله الترانزيستور بين الباعث والمجمع	$V_{CE\max} = 50V$

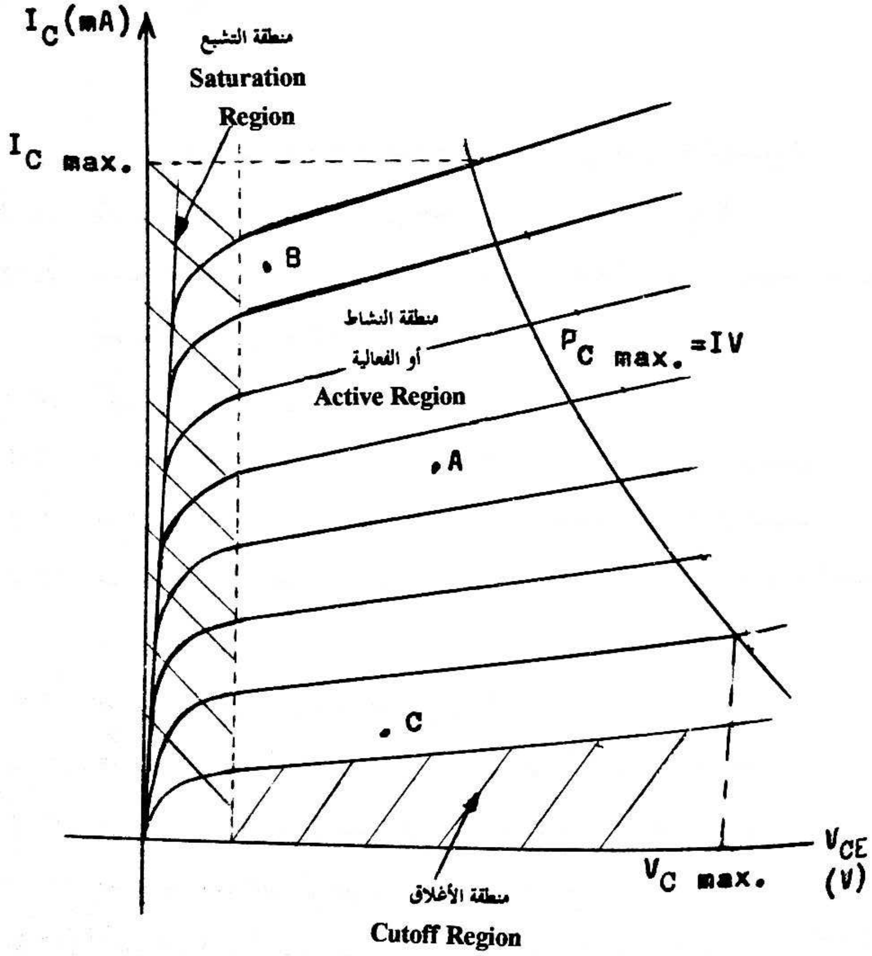
حيث أن القدره (P) تساوى حاصل ضرب التيار فى فرق الجهد P=IV

وعلى هذا فإن $P_{C_{max}}$ لا تساوى دائما $I_{C\max} \times V_{CE_{max}}$

$$P_{C_{max}} \neq I_{C_{max}} \times V_{CE_{max}}$$

ففى المثال السابق $60mw \neq 10 \times 50 = 500mw$

فى حالة استخدام هذه القيم فإن الترانزستور سوف يتلف فى الحال وعلى هذا فعند اختيار تيار المجمع I_C لابد أن يحدد فرق الجهد V_{CE} بحيث لا يتعدى حاصل ضربهما قيمة $P_{C_{max}}$ وفى نفس الوقت تكون هذه القيم واقعة فى منطقة النشاط (Active Region) انظر شكل (2-15) .



شكل (2-15) خصائص دائرة الباعث المشترك مع منحنى اكبر قدره والذى يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار عند اختيار I_C, V_{CE}

تمارين على الباب الثانى

1-2) ما هو الدور التى تقوم به منطقة الباعث (E) فى عمل الترانزيستور؟

2-2) لماذا يكون سمك القاعدة صغير جدا مقارنة بالباعث والمجمع ؟

3-2) ارسم قطاع لترانزيستور نوع PNP موضحا وضعية الجهود المستخدمة بين أقطابه ليكون فى حالة عمل .

4-2) كرر السؤال السابق بالنسبة لترانزيستور نوع NPN

5-2) ما هو المعامل α ، وما هى علاقته بالتيارات المارة خلال الترانزيستور

6-2) ما هى العلاقة بين معامل α ، β لأى ترانزيستور وضح ذلك تفصيليا .

7-2) ما هو نوع الشحنة المكونة للتيار الأكبر داخل الترانزيستور NPN وكذلك نوع PNP .

8-2) ما هو التيار I_{CBO} وما علاقته مع I_{CEO} .

9-2) عدد الطرق المختلفة لتوصيل الترانزيستور فى الدوائر الالكترونية .

10-2) فى حالة توصيل الترانزيستور ذو القاعدة المشتركة ما هى المتغيرات (محاور) منحنيات خصائص الدخول وخصائص الخروج .

11-2) كرر السؤال السابق للترانزيستور ذي الباعث المشترك وكذلك المجمع المشترك

12-2) ما هى مناطق التشغيل لأى ترانزيستور ؟ وضح ذلك على منحنى للخصائص.

13-2) قارن بين مقاومة الدخول للدائرة وكذلك مقاومة الخروج منها ، معامل تقوية التيار والجهد والقدرة لدائرة الترانزيستور ذي القاعدة المشتركة والباعث المشترك وكذلك المجمع المشترك .

14-2) ماذا يترتب على اعطاء الترانزيستور جهوداً أو السماح بمرور تيارات اكبر من القيم العظمى المحدده له ؟

الباب الثالث

الترانزيستور والدوائر الإلكترونية

DC BIASING BJT's

الباب الثالث

الترانزيستور والدوائر الإلكترونية

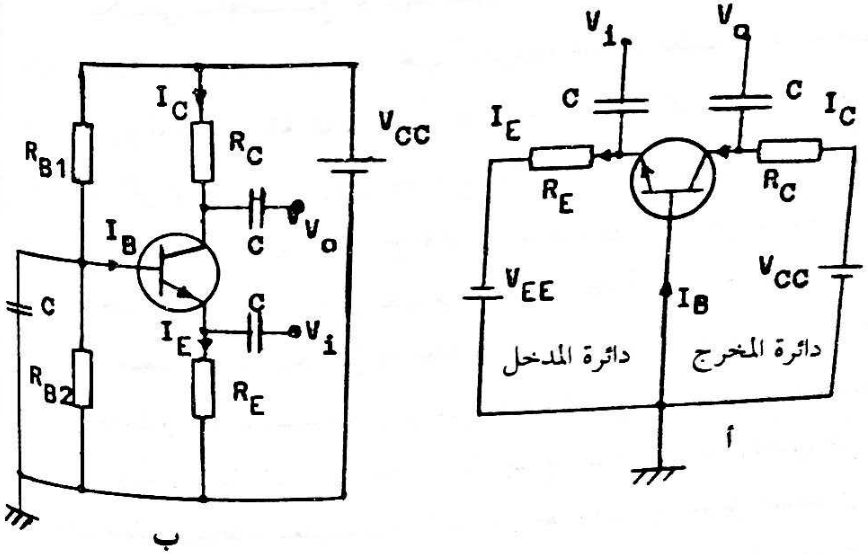
DC BIASING BJT's

3-1) مقدمة :

لكـــى يستطيـــع الترانزيستـــور العمــل فــى دائــرة تكبــير إلكترونيــة (Amplifier Circuit) يجب أن نوصله بحيث تكــون نقطة عمل الترانزيستور واقعة فى منطقة النشـاط (أو الفاعلية) وكمـا ذكرنـا سـابقا أن هـذه المنطقة هى التى تربط I_C مع I_B وكذلك مع V_{CB} بمعادلات خطية وهذا شيء مهم لعمل الترانزيستور لأننا نريد أن تخرج الاشارة المراد تكبيرها بنفس المواصفـات التـى دخلت بها وبدون تشويه أو تغيير فى شكلها ما عدا أنها مكبرة . النقطـة A الواقعة فى منطقة النشاط شكــل (2-15) تمثل موقعا ملائما أمـا النقطتـان B ، C فعكس ذلك والسبب لقــرب الاول من منطقـة التشبع والاخرى من منطقـة الإغلاق ، لذا يهمنـا الان إيجـــاد طريقـة لوضـع نقطـة عمـل الترانزيستور فى منتصف منطقة النشاط والفعاليـــة . كمـا هـو معروف من الفصـل السـابق ان للترانزستور يوجد ثلاثة طرق لتوصيلـه فى الدوائـر الالكترونيـة ولـذا لكـل وضـع يوجد علاقات وطرق خاصة لوضع هــذا الترانزيستور فى منطقة النشاط .

(2–3) دائرة القاعدة المشتركة (Common Base Bias circiut)

فى الفصل السابق كنا نستعمل بطاريتين فى الدوائر الالكترونية للحصول على خصائص الترانزيستور ولكننا فى الواقع لا نحتاج إلا لمصدر كهربائى واحدلتشغيل الترانزيستور فى الدوائر الالكترونية . شكل (3–1) يوضح دائرة القاعدة المشتركة مع R_E, R_C . فى هذه الدائرة يوجد كما هو معروف دائرتان إحداهما دائرة المدخل والاخرى دائرة المخرج وباستخدام قاعدة كيروشوف نحصل على العلاقات الاتية :



شكل (3–1) دائرة القاعدة المشتركة

أ) بمصدرين كهربيين ب) بمصدر كهربائى واحد

أ– دائرة المدخل :

$$V_{EE} = I_E R_E + V_{EB}$$

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{EB}}{R_E} \qquad (1\text{–}3)$$

$$V_{EB} \cong 0$$

$$I_E \cong \frac{V_{EE}}{R_E} \qquad (2\text{–}3)$$

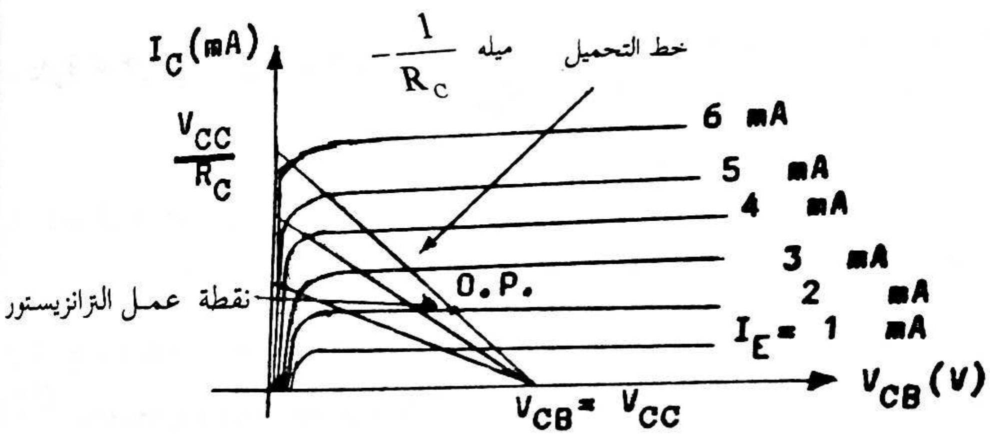
ب– دائرة المخرج :

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CB}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CB}}{R_C} \quad \text{or} \quad I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CB} + \frac{V_{CC}}{R_C} \qquad (3\text{–}3)$$

$$I_C = \alpha I_E \quad \text{or} \quad I_C \cong I_E$$

عند رسم العلاقة (3–3) نحصل على خط مستقيم ميله $-\frac{1}{R_C}$ وهو ما يسمى بخط التحميل (Load line) . I_C سوف تأخذ قيم صغيرة عندما تكبر R_C اما إذا اصبحت R_C فى ما لا نهاية فإن I_C يصبح صفرا وأن $V_{CB} = V_{CC}$ انظر شكل (3–2) .



شكل (3–2)

خصائص دائرة القاعدة المشتركة لترانزيستور نوع NPN مع توضيح أثر R_C على ميل خط التحميل

عند تثبيت تيار معين $(I_E = 2mA)$ يعنى ذلك ان هناك نقطة تقاطع بين خط العمل (التحميل) مع المنحنى $I_C = f(V_{CB})$ ، نقطة التقاطع هذه تسمى نقطة عمل الترانزيستور (O . P .) بتغير قيمة R_C نستطيع تغييروضع نقطة العمل (O . P)

3–3) دائرة الباعث المشترك (Common Emitter Bias Circuit)

إن الدوائر الالكترونية تحتاج فى أغلب الاحيان الى اكثر من مصدر كهربائى ولكن بواسطة مقاومات متصلة على التوالى مع مصدر كهربائى واحد يمكن الحصول على جهود مختلفة والتى يمكن استخدامها حسب الطلب . واليك بعض الدوائر لترانزيستور ذي باعث مشترك واستخدام مصدر كهربائى واحد .

أ) دائرة الترجيح الثابت :

يتم ذلك باستخدام مصدر كهربائى ومقاومة للحصول على الجهود الكهربية اللازمة لتشغيل الترانزيستور فى منطقة النشاط أو الفعالية كما هو موضح فى شكل (3–3) ولإيجاد نقطة عمل هذا الترانزيستور نلاحظ أن من دائرة المدخل يمكن الحصول على العلاقات الآتية :

$$V_{CC} = I_B R_B + V_{BE}$$

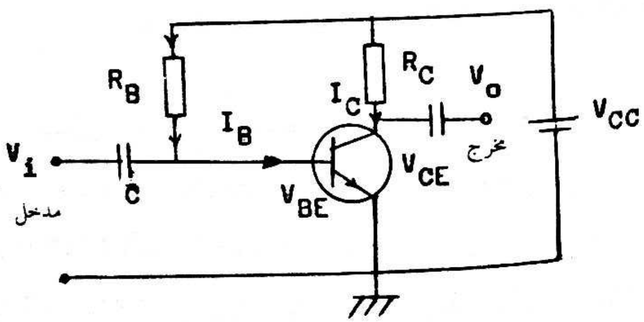
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_{BQ} = I_B \cong \frac{V_{CC}}{R_B} \quad , \quad V_{BE} \cong 0 \qquad (4-3)$$

أما بالنسبة لدائرة المخرج :

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$$

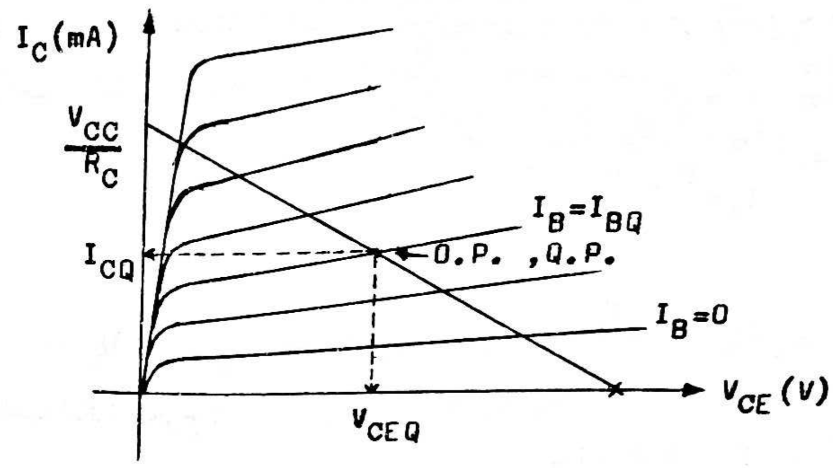
$$I_C = -\frac{1}{R_C} V_{CE} + \frac{V_{CC}}{R_C} \qquad (5-3)$$



شكل (3–3)

دائرة الترجيح الثابت لترانزيستور ذو باعث مشترك

عند رسم العلاقة (3-5) على منحنى الخصائص نحصل على خط التحميل الذى نقطة تقاطعه (مع منحنى الخصائص الوحيد عند $I_{BQ} = I_B$ من المعادلة (3-4)) يعطينا نقطة عمل الترانزيستور الموضحة فى شكل (3-4) .



شكل (3-4)

خصائص دائرة المخرج لـNPN ترانزيستور ذو باعث مشترك مع خط العمل ونقطة التشغيل

يمكن الحصول على احداثيات نقطة التشغيل تقريبا بطريقة نظرية دون اللجوء إلى منحنيات خصائص الخروج وذلك من المعادلات الاتية :

من المعادلة (3-4)

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC}}{R_B}$$

$$I_{CQ} \cong \beta I_{BQ}$$

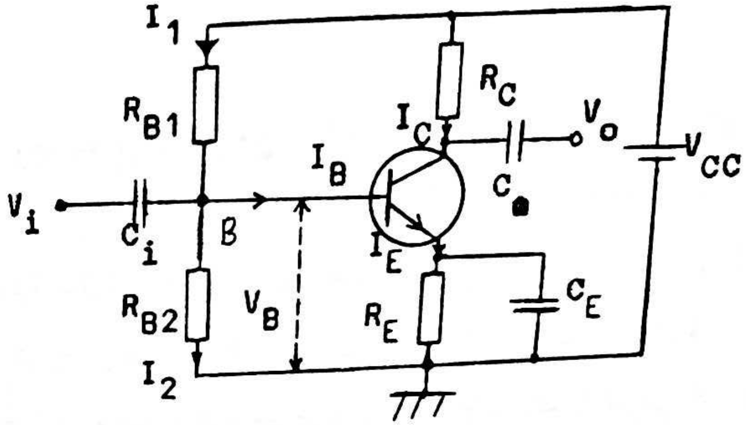
$$V_{CC} = I_{CQ}R_C + V_{CEQ}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_C$$

وهنا يتضح ان كل من V_{CEQ}, I_{CQ} يعتمد على المعامل β غير أن I_{BQ} له قيمة ثابتة تعتمد فقط على V_{CC}, R_B ولكن ليست على المعامل β لذلك سميت هذه الدائرة بدائرة الترجيح الثابت وحيث أن هذا المعامل (β) يتأثر كثيرا بدرجة الحرارة التى يعمل عندها النظام لذلك فإن نقطة عمل هذه الدائرة تتذبذب بتغير درجة الحرارة . وهذه ظاهرة غير مرغوب فيها لاننا دائما نحرص أن تكون نقطة عمل الترانزيستور مستقرة فى وضع معين فى منطقة النشاط لا تتغير عنه مهما تغيرت درجة الحرارة . نتيجة لتغير قيمة المعامل (β) بتغير درجة الحرارة حيث أنه يزداد بزيادة درجة الحرارة فإن هذا يؤدى إلى زيادة التيار I_C عن القيمة I_{CQ} وينتج عن ذلك زيادة القدرة المهدورة عن طريق الترانزيستور وهذا يعمل على زيادة درجة حرارة الترانزيستور نفسه وبالتالى المعامل (β) وتستمر هذه الحلقة حتى تزداد درجة الحرارةإلى قيمة عالية جدا تعمل على تدمير الترانزيستور أى أن تنتقل نقطة التشغيل إلى منطقة التشبع بزيادة I_C تاركة منطقة النشاط (أوالفعالية) .

ب) دائرة الترجيح الذاتى :

هذه الدائرة تحتوى على ترانزيستور ومصدر جهد V_{CC} وكذلك مقاومة R_C ومقاومتان R_{B_1}, R_{B_2} يعملان كمقسم للجهد لوضع نقطة عمل الترانزيستور فى الوضع المطلوب بالاضافة إلى مقاومة الباعث R_E لترجيح الترانزيستور ذاتيا والتى تمكن الدائرة من الوصول إلى حالة اتزان واستقرار غير قابل للتذبذب وسنقوم بشرح وظيفتها فيما بعد . شكل (3-5) يوضح هذه الدائرة .



شكل (3–5)

دائرة الباعث المشترك بترجيح ذاتى

1) دائرة المدخل (التحليل التقريبى) :

تيار الباعث I_E يمكن حسابه بحاصل قسمة فرق الجهد الواقع على R_E مقسوما على R_E اى أن

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} \qquad (6-3)$$

ولكن

$$I_C \cong I_E \quad ، \quad I_C = \beta I_B$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{V_E}{\beta R_E}$$

معنى هذا ان تيار القاعدة I_B يواجه من مدخل الترانزيستور مقاومة كبيرة جدا مقدارها βR_E وعلى هذا فإن التيار I_B سيكون صغيرا جداً يمكن اهماله وبناء على ذلك فإن التيار I_1 فى شكل (3–5) سوف يساوى التيار I_2

$$I_B \cong 0$$

$$I_1 \cong I_2 = \frac{V_B}{R_{B_2}} = \frac{V_{CC}}{R_{B_1} + R_{B_2}}$$

اى أن الجهد عند النقطة B (V_B) يساوى :

$$V_B = V_{CC} \frac{R_{B_2}}{R_{B_1} + R_{B_2}} \qquad (7-3)$$

$$V_E = V_B - V_{BE} \cong V_B \qquad (8-3)$$

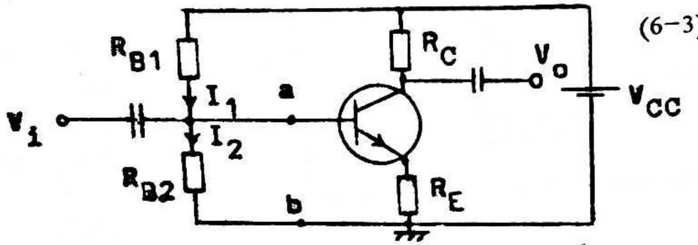
$$V_{R_C} = I_C R_C$$

$$V_C = V_{CC} - V_{RC} = V_{CC} - I_C R_C \qquad (9-3)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E \qquad (10-3)$$

2) دائرة المدخل (التحليل الدقيق):

باستخدام نظرية ثيفينين (Thevenin's Th.) لايجاد الدائرة المكافئة بين النقطتين b , a فى شكل (3–6)



شكل (3–6)

دائرة الباعث المشترك يوضح موضع النقطتين (b , a)

لايجاد جهد ثيفينين تفتح الدائرة بين النقطتين a, b وليكن الجهد بين الطرفين المفتوحين a,b هو V_{BB}

بما أن القاعدة مفتوحة ∴

$$I_B = 0$$

$$I_1 = I_2$$

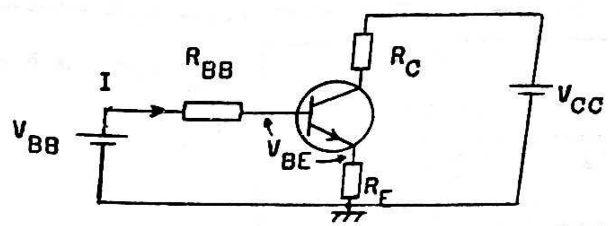
$$\frac{V_{BB}}{R_{B_2}} = \frac{V_{CC}}{R_{B_1} + R_{B_2}}$$

$$V_{BB} = V_{CC}\frac{R_{B_2}}{R_{B_1} + R_{B_2}} \qquad (11-3)$$

لايجاد المقاومة المكافئة من منطلق (b , a) نبعد البطارية V_{CC} ونضع سلك نحاسى بدلا منها فتصبح المقاومة المكافئة R_{BB} من هذا المنطلق هى محصلة R_{B_1}, R_{B_2} على التوازى :

$$R_{eq} = R_{BB} = \frac{R_{B1}R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \qquad (12-3)$$

والآن نرسم الدائرة المكافئة بين النقطتين a , b للدائرة الموضحة فى شكل (3-6) كما فى شكل (3-7) .



شكل (3-7)

الدائرة المكافئة لدائرة المدخل فى دائرة الباعث المشترك (التحليل الدقيق)

باستخدام قاعدة كيرشوف نحصل على :

$$V_{BB} - V_{BE} = I_B R_{BB} + I_E R_E$$

$$= I_B R_{BB} + (I_C + I_B)R_E$$

$$= I_B R_{BB} + (\beta + 1)I_B R_E$$

$$= I_B\{R_{BB} + (\beta + 1)R_E\}$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB} + (\beta + 1)R_E} \qquad (13-3)$$

مثال :

احسب **فروق الجهد حول المقاومات** وتياراتها فى الدائرة المبينة فى شكل (3-8) باستخدام طريقة التحليل الدقيق .

الحل : باستخدام العلاقة (3-12) نحصل على ما يلى :

$$R_{BB} = \frac{R_{B1}R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

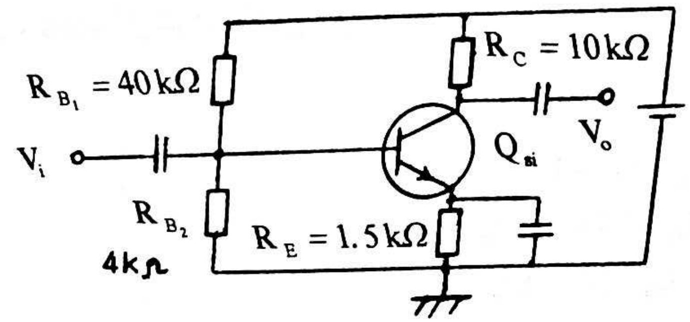
$$= \frac{40 \times 4 \times 10^6}{(40+4)10^3} = \frac{160}{44} = 3.64k$$

$$\cong 4k\Omega$$

$$V_{BB} = V_{CC}\frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{22 \times 4}{40+4}V$$

$$= 2V$$

باستخدام العلاقة (3-13) نحصل على ما يلى :-



$V_{CC} = 22V$

$\beta = 140$

شكل (3-8)

دائرة الباعث المشترك

$$I_B = \frac{2-0.7}{\frac{160}{44}+141\times 1.5} = 6.04\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 140\times 6.04\times 10^{-6} = 0.85mA$$

$$V_{R_C} = I_C R_C = 0.85\times 10\times 10^3\times 10^{-3} = 8.5V$$

$$V_{R_E} = I_E R_E \cong 0.85\times 10^{-3}\times 1.5\times 10^3 = 1.28V$$

$$V_{C_E} = V_{CC} - V_{RE} - V_{R_C} = 22 - 8.5 - 1.28$$

$$= 12.2V$$

$$V_{BB} = V_{RB_2} = 2V$$

$$I_{RB_2} = \frac{V_{RB_2}}{R_{B_2}} = \frac{2}{4} = 0.5mA \cong I_{RB_1}$$

$$V_{R_{B1}} = I_{R_{B1}} . R_{B_1} = 0.5\times 10^{-3}\times 40\times 10^3 = 20V$$

3-4) تصميم الدائرة الإلكترونية السابقة (تصميم مضخم إلكترونى)

تصميم مضخم يعنى كيفية وضع نقطة عمل الترانزيستور فى منطقة النشاط أو الفعالية وذلك لكى يصبح الترانزيستور قادراً على العمل كمضخم أو مقوى . إذا أعطيت ترانزيستور نوع NPN مصنوع من مادة السيليكون (BC108) وخصائصه المعطاة من الشركة المصنعة هى :

$\beta = 200$ ، $P_{max} = 0.3W$ ، $I_{C_{max}} = 0.2A$ ، $V_{CE_{max}} = 30V$

$f_{max} = 250MHz$

وطُلب منـــك تصميم الدائرة المبينة فى شكل (3-5) بحيث تكون نقطة العمل واقعه عند النقطة $(I_C = 5mA, V_{CE} = 5V)$ وأن المصدر الكهربائى المتوفر لديك هو $V_{CC} = 10V$ ، فعندئذ تكون الخطوات المتبعة هى :

1) القدرة $P = I_C \times V_{CE}$ يجب ألا تتعدى قيمة P_{max} أى أن :

$$P = 5mA \times 5V = 25mW$$

وهى أقل من 0.3W .

2) V_{CE} تساوى $\frac{V_{CC}}{2}=\frac{10}{2}=5$ فولت

3) فرق الجهد (V_E)حول المقاومة R_E يكفى أن يكون مساوياً $V_E=\frac{V_{CC}}{10}$

أى أن

$$V_E=\frac{10}{10}=1V$$

4)

$$R_E=\frac{V_E}{I_E} \quad , \quad I_E \cong I_C$$

$$R_E=\frac{1V}{5mA}=200\Omega$$

5)

$$V_{R_C}=V_{CC}-V_{CE}-V_E$$
$$=10-5-1=4V$$

6)

$$R_C=\frac{V_{RC}}{I_C}=\frac{4V}{5mA}=800\Omega$$

7)

$$\beta=\frac{I_C}{I_B}\Rightarrow I_B=\frac{I_C}{\beta}=\frac{5\times10^{-3}}{200}=2.5\times10^{-5}A$$

8) التيار المار فى كل من R_{B2}, R_{B1} يجب ان يكـون اكـبر مـن I_B بعشـرة اضعـاف تقريبا وعلى هذا

$$I_{R_{B1}} \approx I_{R_{B2}}=10\times I_B=25\times10^{-5}A$$

9)

$$V_{RB2}=V_{BE}+V_E=0.7+1=1.7V$$

10)

$$R_{B2}=\frac{V_{RB2}}{I_{RB2}}=\frac{1.7}{25\times10^{-5}}=6.8k\Omega$$

11)

$$V_{R_{B1}}=V_{CC}-V_{R_{B2}}$$
$$=10-1.7=8.3V$$

12)

$$R_{B_1}=\frac{V_{RB1}}{I_{RB1}}=\frac{8.3}{25\times10^{-5}}\cong 33k\Omega$$

5-3) استقرارية نقطة العمل : (Bias Stabilization)

تثبيت نقطة العمل فى منطقة النشاط (Active Region) فى دوائر المضخمات امر مهم وضرورى ، فتغير موقع نقطة العمل قد يؤدى ليس فقط إلى تشويه شكل الاشارة الخارجة وجعلها لاتمت بصلة إلى شكل الاشارة الداخلة بل قد يؤدى إلى اتلاف الترانزيستور نفسه . أهم العوامل التى تؤثر على وضع نقطة العمل هى اختلاف درجة حرارة المحيط فكما ذكرنا فى الباب الاول بأن ارتفاع درجة حرارة منطقة الأتصال فى الصمام الثنائى درجة مئوية واحدة قد يؤدى إلى انخفاض فرق جهد منطقة الحاجز الجهدى بمقدار 2.5mV وأن ارتفاع درجة حرارة منطقة الاتصال هذه بمقدار عشرة درجات مئوية يؤدى إلى مضاعفة التيار العكسى (تيار

الاقلية) وفى حالة الترانزيستور يؤدى ذلك إلى زيادة تيار المجمع (I_C) وهذا يؤدى إلى زيادة القدرة المستهلكة فى الترانزيستور وبالتالى يؤدى إلى تسخينه وهذا يؤدى إلى زيادة التيار العكسى الذى بالتالى يؤدى إلى زيادة تيار المجمع وهكذا مما يؤدى إلى إتلاف (الترانزيستور) وحيث أن $\beta \equiv \frac{I_C}{I_B}$ لهذا فإن (β) سوف تتغير قيمتها بتغير درجة الحرارة وعلى هذا فإن تيار المجمع I_C سوف يتغير بتغير كل من التيار العكسى (I_{CBO}) وفرق جهد الحاجز الجهدى (V_{BE}) وكذلك معامل تقوية التيار (β) اى أن :

$$I_C = f(I_{CBO}, V_{BE}, \beta)$$

باستخدام العلاقات (2 − 1) ، (2 − 2) ، (4 − 2) ، (9 − 2) نحصل على العلاقة الآتية :

$$I_C = \beta I_B + (1+\beta) I_{CBO} \qquad (14-3)$$

والآن سنقوم بدراسة دوائر مختلفة وفى كل حالة نجد العلاقة (I_B) مع المتغيرات الاخرى ونعوض فى العلاقة (3−14) ثم نجد التغير الكلى فى تيار المجمع dI_C الذى سيحدث عندما يتغير كل من I_{CBO} ، V_{BE} وكذلك β

$$I_C = f(I_{CBO}, V_{BE}, \beta)$$

$$dI_C = \frac{\partial I_C}{\partial I_{CBO}} dI_{CBO} + \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} dV_{BE} + \frac{\partial I_C}{d\beta} d\beta \qquad (15-3)$$

والآن سنجرى الأختصارات الآتية :

$$\frac{\partial I_C}{\partial I_{CBO}} = S_1 \text{ ، } \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} = S_2 \text{ ، } \frac{\partial I_C}{\partial \beta} = S_3 \qquad (16-3)$$

مثال :

بإستخدام دائرة الترجيع الثابت لترانزيستور ذو باعث مشترك المبينة فى شكل (3−3) نحصل على :

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

بالتعويض فى (3−14) نحصل على :

$$I_C = \beta\left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}\right) + (1+\beta) I_{CBO} \qquad (17-3)$$

بعد إجراء المشتقات للعلاقة (3−17) نجد أن

$$S_1 = (\beta + 1) \text{ ، } S_2 = -\frac{\beta}{R_B} \text{ ، } S_3 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} + I_{CBO}$$

لنفرض أن

$$\beta = 50 \text{ ، } R_C = 22k\Omega \text{ ، } R_B = 200k\Omega \text{ ، } V_{CC} = 12V$$

بالتعويض نجد أن

$$S_1 = 51 \text{ ، } S_2 = -2.5 \times 10^{-4} \frac{1}{\Omega} \text{ ، } S_3 = 60 \times 10^{-6} A$$

كلما تكون قيم S_1, S_2, S_3 صغيرة كلما كان التغير فى I_C صغير وبالتالى تكون الدائرة اكثر استقرارية .

مثال 2 :

الآن بالنسبة لدائرة الترجيح الذاتى المبينة فى شكل (3-8)وباستخدام العلاقات (3-14) ، (3-13) نحصل على العلاقة الاتية :

$$I_C = \frac{\beta(V_{BB} - V_{BE}) + (\beta+1)I_{CBO}(R_B + R_E)}{(\beta+1)R_E + R_B}$$

$$S_1 = (\beta+1)\frac{1+\frac{R_B}{R_E}}{(\beta+1)+\frac{R_B}{R_E}} \approx 1 + \frac{R_B}{R_E}$$

$$S_2 = \frac{-\beta}{(\beta+1)R_E + R_B}$$

$$S_3 = \frac{I_C S_1}{(1+\beta)}$$

وبالتعويض بالقيم الواردة فى المثال السابق نحصل على

$$S_1 \approx 3.4$$

بمقارنة S_1 فى المثال السابق وهذا المثال نلاحظ أن S_1 فى دائرة الترجيح الذاتى اصغر بكثير من S_1 لدائرة الترجيح الثابت وهذا يعنى ان التغير فى I_C فى المثال (1) اكبر بكثير من مثال (2) والسبب يرجع للمقاومة R_E وطريقة عملها يتلخص فيما يلى :

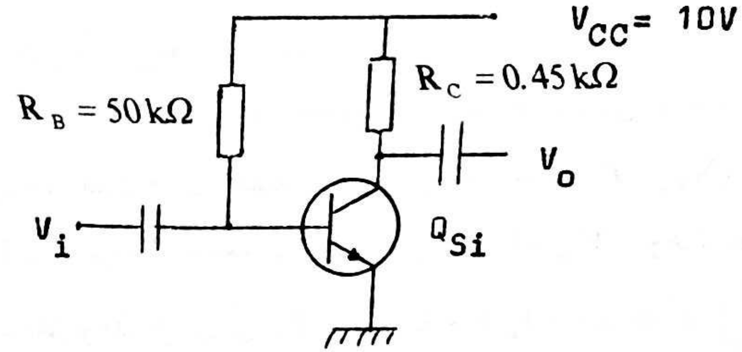
لنفرض أن تيار المجمع I_C ازداد لسبب أو لاخر هذا يعنى ان تيار الباعث سيزداد أيضا وبالتالى فإن فرق الجهد بين طرفى المقاومة R_E (V_{R_E}) سيزداد وحيث أن V_{BB} ذات قيمة ثابتة وهو يساوى $V_{BB} = V_{BE} + V_{RE}$ وهذا يعنى أن (V_{BE}) يجب أن يقل وهذا يؤدى إلى تناقص تيار القاعدة I_B وحيث أن $I_B = \frac{I_C}{\beta}$ لهذا فإن I_C سوف يتناقص ، انظر التسلسل الآتى :

$$I_C\uparrow \to I_E\uparrow \to V_{RE}\uparrow \to V_{BE}\downarrow (V_{BB} = const) \to I_B\downarrow \to I_C\downarrow$$

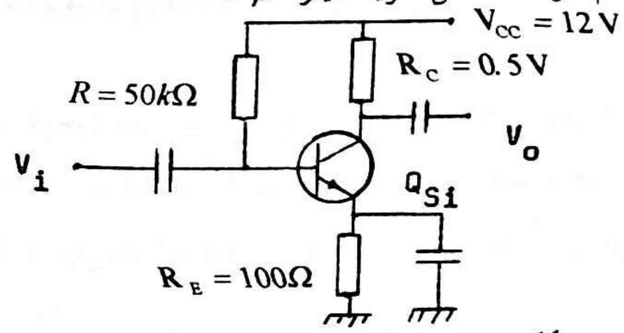
فائدة المكثف الموجود على التوازى مع المقاومة (R_E) هى لتمرير الاشارة الكهربية عن طريقه حيث أن ممانعته للاشارة الكهربائية صغيرة جدا طبقا للعلاقة ($X_C = \frac{1}{\omega c}$) وفى حالة عدم وجود هذا المكثف فإن جزءاً من جهد هذه الاشارة سوق يقع على هذه المقاومة وبالتالى يفقد شيء من الاشارة المراد تكبيرها وهذا ما نسميه بالتغذية المرتدة السالبة والتى ستشرح فيما بعد .

تمارين على الباب الثالث

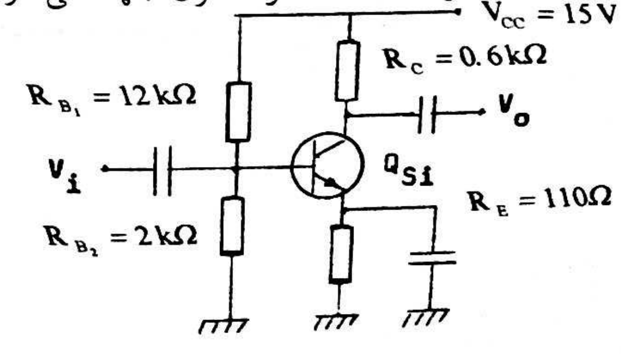
3-1) فى الدائرة الالكترونية المبينة أدناه أوجد فرق الجهد على طرفى كل مقاومة.



3-2) فى الدائرة الألكترونية المبينة أدناه ، أوجد فرق الجهد على طرفى كل مقاومة. ثم اوجد معامل تقوية التيار β .



3-3) فى الدائرة الألكترونية المبينة أدناه أوجد فرق الجهد على طرفي كل مقاومة.



3-4) صمم دائرة الكترونية بترجيح ذاتى كالمبينة في الشكل الوارد في السؤال 3-3 مستخدماً مصدر كهربى $V_{CC} = 20V$ وترانزيستور سيليكونى بمعامل تقوية تيار $\beta = 80$ وبحيث تقع نقطة عمله عند $V_{CEQ} = 10V, I_{CQ} = 4mA$ علماً بأن اكبر قدرة لهذا الترانزيستور هى $P_{max} = 100mw$.

الباب الرابع

الترانزيستور ذو التأثير الحقلي

Field Effect Transistor (FET's)

الباب الرابع

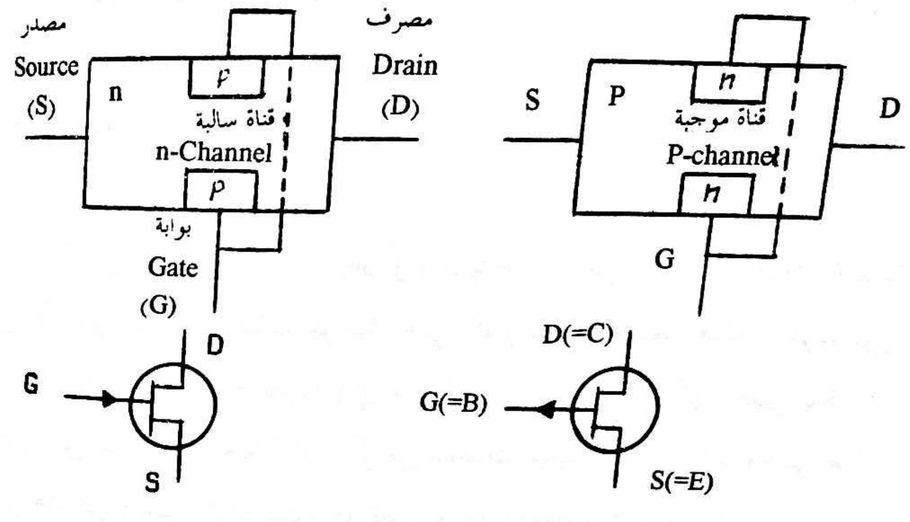
الترانزيستور ذو التأثير الحقلي (Field Effect Transistor (FET's)

4-1) مقدمة :

الترانزيستور سواء أكان pnp أو npn ينتج تياره من حركة الشحنات السالبة وهي الألكترونات و الشحنات الموجبة وهي الثقوب لذا يسمى هذا الترانزيستور ترانزستور ذو قطبين (Bipolar Tr.) في حين أن الترانزيستور ذو التأثير الحقلي يتكون تياره إما من شحنات موجبة الثقوب أو من شحنات سالبة الالكترونات وعلى هذا يسمى هذا الترانزيستور ترانزيستور ذو قطب واحد (Unipolar Transistor) .

4-2) تركيب الترانزيستور ذو التأثير الحقلي (Construction of JFET)

يتكون الترانزيستور ذو التأثير الحقلي (FET) إما من قضيب من مادة ذات نوعية سالبة يحتوى على منطقتين من مادة ذات نوعية موجبة بينهما قناة سالبة ويسمى في هذه الحالة بالترانزيستور ذى التأثير الحقلي ذى القناة السالبة (n-channel FET) أو من قضيب من مادة ذات نوعية موجبة ويحتوى على منطقتين من مادة ذات نوعية سالبة بينهما قناة موجبة ويسمى بالترانزيستور ذى التأثير الحقلي ذى القناة الموجبة (P-channel FET) . أحد طرفي القضيب يسمى بالمصرف (D) Drain أما الأخر فيسمى بالمصدر (S) Source . أما المنطقتين المخالفتين لمادة القضيب فمتصلتين معا مكونتين ما يسمى بالبوابة Gate(G) كما هو مبين في شكل (4-1) .



(ب) (أ)

شكل (4−1)

تركيب الترانزيستور ذى التأثير الحقلى

(أ) ذو قناة موجبة مع اصطلاحه العملى

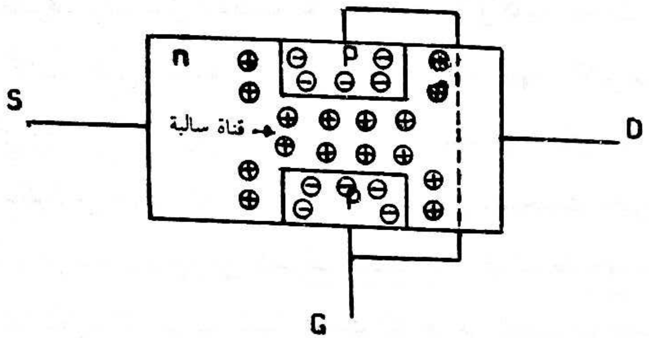
(ب) ذو قناة سالبة مع اصطلاحه العلمي

4−3) طريقة عمل وخصائص الترانزيستور ذو التأثير الحقلى

(Operation and characteristics of JFET)

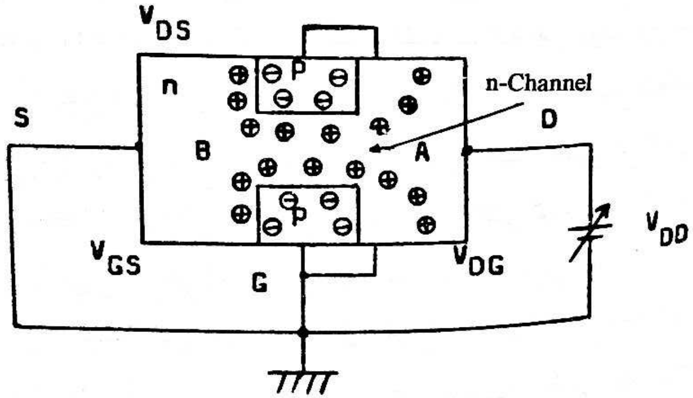
لشرح عمل الترانزيستور ذى التأثير الحقلى ذى القناة السالبة يوصل المصرف (D) مع القطب الموجب لبطارية واما المصدر (S) فيوصل مع القطب السالب لها أما البوابة (G) فيوصل مع المصدر (S) كما هو مبين في (شكل 4−3) .

قبل إغلاق الدائرة أى قبل توصيل البطارية يتكون هناك منطقتان مفرغتان من الشحنات الحرة (Depletion Region) كما هو مبين فى شكل (4−2) .



شكل (4−2)

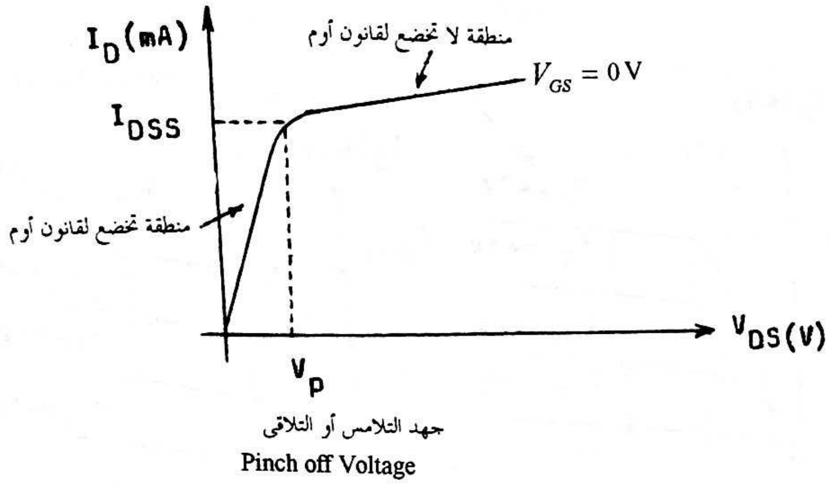
ترانزيستور ذو تأثير حقلى بقناة سالبة وتظهر فيه المناطق المفرغة من الشحنات الحرة



شكل (4−3)

ترانزيستور ذو تأثير حقلي بقناة سالبة

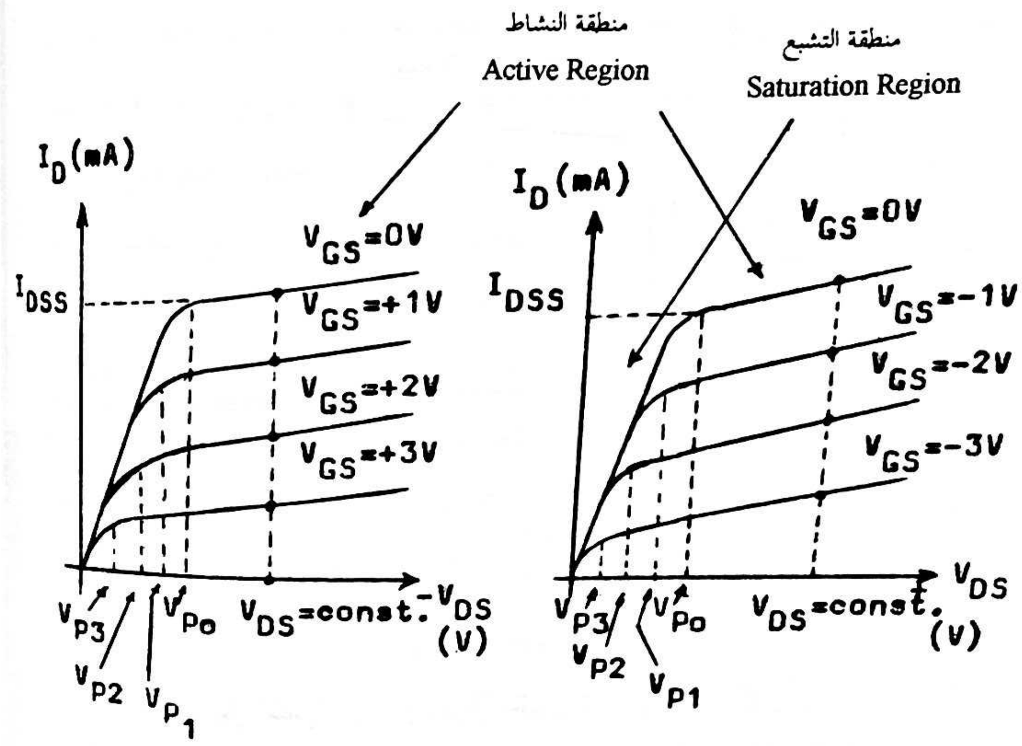
عند إغلاق الدائرة وتوصيل البطارية كما ذكرنا آنفا وكما هو مبين في شكل (4-3) ، وحيث أن قضيب الترانزيستور ذو القناة السالبة له مقاومة معينة لذا فإن هناك جهوداً مختلفة تقع على طول هذا القضيب . النقاط ذات الجهد المرتفع تقع بالقرب من المصرف والمتصل بالقطب الموجب للبطارية وكلما ابتعدت هذه النقاط من المصرف كلما قل جهدها فمثلا النقطة (A) لها جهد اكبر من النقطة B المبينة في شكل (4-3) ، هذا وفى نفس الوقت فإن الصمام الثنائى المتكون في هذا الترانزيستور يكون فى حالة مانع وأن المنطقة المفرغة من الشحنات الحرة (Depletion Region) تكون عريضة بالقرب من المصرف بسبب أن تلك النقاط جهدها عالٍ فى حين أن المنطقة تكون أقل عرضا كلما ابتعدت النقاط عن المصرف بسبب التناقص فى جهدها نظراً لبعدها عن القطب الموجب للبطارية . كلما زاد جهد المصدر الكهربي V_{DD} والذى يساوى الأن (V_{DS}) أى فرق الجهد بين المصرف والمصدر كلما زاد تيار المصرف I_D ويكون ذلك طبقا لقانون أوم . وبناءً على ما سبق فكلما زاد فرق الجهد (V_{DS}) فإن عرض المنطقة المفرغة من الشحنات الحرة (Depletion Region) يزداد عرضاً وبالتالى فإن اتساع القناة السالبة يقل رويداً رويداً . وقد يأتى الوقت أن يصل فيه فرق الجهد(V_{DS})الى قيمة تتلامس فيها المنطقتان المفرغتان من الشحنات. هـذا الجهـد سنطلق عليه جهد التلاقى أو التلامس(V_P) Pinch off Voltage عند هذا الجهد نحصل على تيار مصرف I_{DS} والذى يسمى الآن I_{DSS} أي تيار التشبع الذى يمر من المصرف الى المصدر عندها يبقى هذا التيار ثابت الشدة بالرغم من زيادة فرق الجهد (V_{DS})والسبب هو أن مقاومة القناة الأن تزداد مع زيادة (V_{DS}) بسبب تناقص عرضها ($R=\rho\frac{l}{A}$) وعلى هذا فإن I_{DSS} سيبقى ثابتاً أنظر شكل (4-4). شكل (4-4) يبين العلاقة بين تيار المصرف (I_D) وفرق الجهد بين المصرف والمصدر (V_{DS}) عندما يكون $V_{GS}=0$.



شكل (4-4)

العلاقة بين تيار المصرف(I_D) وفرق الجهد (V_{DS})عندما يكون $V_{GS}=0$

عند وضع مصدر كهربي (V_{GG}) بين البوابة والمصدر فى شكل (4-3) بحيث يكون قطبه السالب متصلا مع البوابة (G) والموجب مع المصدر (S) نلاحظ أن هذا سيسبب فرق جهد (V_{GS}) يساعد فى الأسراع في تلامس المناطق المفرغة من الشحنات الحرة وعلى هذا فإن فرق جهد التلاقى (V_p) سيحدث عند فرق جهد V_{DS} أقل من الحالة السابقة عندما كان $V_{GS}=0$ كما هو مبين في شكل (4-5). عند تثبيت V_{DS}عند قيمة معينة ورسم مستقيم عند هذه النقطة عموديا على المحور (V_{DS}) فإن هذا العمودي سيقطع المنحنيات في عدة نقاط كما هو واضح في شكل (4-5 أ،ب) .



(ب) (أ)

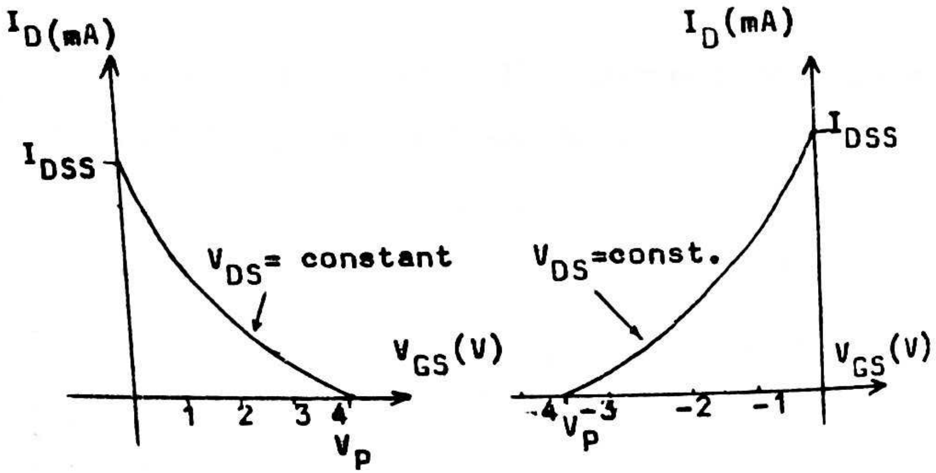
شكل (4-5)

العلاقة بين تيار المصرف (I_D) وفرق الجهد بين المصرف والمصدر (V_{DS}) عند تثبيت فرق الجهد (V_{GS}) (خصائص الترانزيستور ذو التأثير الحقلي)

أ) ترانزيستور ذو قناة سالبة (n-channel FET)

ب) ترانزيستور ذو قناة موجبة (P-channel FET)

عند هذه النقاط تؤخذ قيمة كل من I_D، V_{GS} وترسم العلاقة بين I_D ، V_{GS} فنحصل على شكل (4-6) .



(ب) (أ)

شكل (4-6) العلاقة بين I_D وفرق الجهد V_{GS} عند تثبيت V_{DS}.

أ) ترانزستور ذو قناة سالبة (n-channel FET)

ب) ترانزيستور ذو قناة موجبة (P-channel FET)

الخصائص المبينة فى شكل (4-5) تقابل خصائص دائرة المخرج في الترانزيستور وأما الخصائص المبينة فى شكل (4-6) فتسمى بالخصائص الانتقالية (Transfer characteristics) . شكل (4-6) يمكن الحصول عليه أيضاً باستخدام العلاقة الرياضية الآتية :

$$I_D = I_{DSS}(1-\frac{V_{GS}}{V_p})^2 \qquad \text{.............(1-4)}$$

عندما تصبح $V_{GS} = 0$ فإن $I_D = I_{DSS}$

وعندما تصبح $I_D = 0$ فإن $V_{GS} = V_p$

هـــذه العلاقة تربط تيار المصرف (I_D) مع فرق الجهد بين المصدر والبوابة (V_{GS}) وبإيجاد المشتقة الأولى للعلاقة (4-1) نحصل على :

$$g_m = \frac{dI_D}{dV_{GS}} = \frac{2I_{DSS}}{-V_P}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) \qquad V_{DS} = \text{const.}$$

$$g_m = g_{mo}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right) \qquad (4-2)$$

حيث أن

$$g_{mo} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} \left(\text{Siemens(s)} \quad \text{or} \quad \text{ms} \quad \text{or} \quad \mu s\right) \qquad (4-3)$$

من العلاقة (4-2) اذا كانت $V_{GS} = 0$ فإن

$$g_m = g_{mo} \qquad (4-4)$$

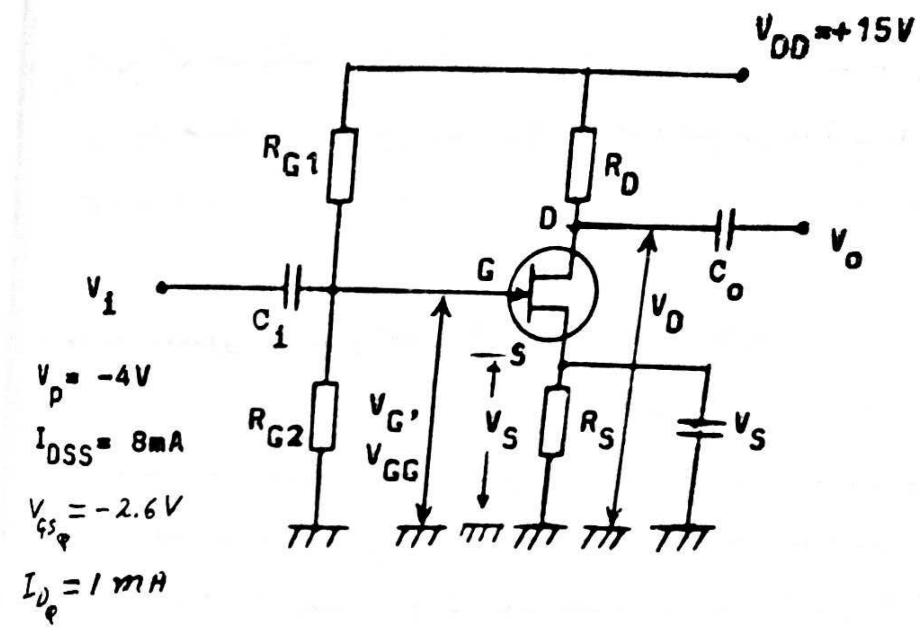
g_m معامل تقوية الترانزيستور ذى التأثير الحقلى للتيار المتردد حيث يساوى حاصل قسمة التغير في تيار المخرج (dI_D) المتسبب من تغير فرق جهد المدخل dV_{GS} على التغير فى فرق جهد الاشارة الداخلة بين المصدر والبوابة (dV_{GS}) .

g_m تصبح اكبر ما يمكن عندما يكون فرق جهد البطارية بين المصدر والبوابة $V_{GS} = 0$ وفي هـــذه الحالة تصبح $g_m = g_{mo}$ كما هو واضح من العلاقات (4-2) ، (4-3) ، (4-4) .

4-4) الترانزيستور ذو التأثير الحقلى في الدوائر الألكترونية :

يوصل الترانزيستور ذا التأثير الحقلى في الدوائر الألكترونية بحيث يكون المصدر (S) مشتركاً بين دائرة المدخل ودائرة المخرج وتقابل هذه الدائرة دائرة الباعث المشترك في الترانزيستور . أو أن يكون المصرف (D) مشتركاً بين دائرة المدخل ودائرة المخرج ويقابل هذا دائرة المجمع المشترك في دوائر الترانزيستور أو أن تكون البوابة مشتركة بين دائرة المدخل والمخرج ويقابل هذا دائرة القاعدة المشتركة فى دوائر الترانزيستور ، وعليه سنسلك طرقاً مشابهة لما إتبعناه في الترانزيستور لتثبيت نقطة العمل فى منطقة النشاط أو الفعالية المبينة في شكل (4-5). تيار المصرف (I_D) تُحدد اكبر قيمة له بالقيمة I_{DSS} عندما يكون فرق الجهد بين المصدر والبوابة يساوى صفر ($V_{GS} = 0$) . V_P هو فرق الجهد V_{GS} الذى يكون عنده $I_D = 0$ وهاتان القيمتان I_{DSS} وكذلك V_P تُعطيان من قبل الشركة المصنعة لهذا الترانزيستور أو يمكن اجراء تجربة لايجاد ها .

والأن سنستعمـــل دائرة ترجيح ذاتـى مـع مقاومتين كمقسم لفرق جهد البطارية (V_{DD}) كما هو مبين في شكل (4-7) .



شكل (4-7)

دائرة مصدر مشترك مع ترجيح ذاتى ومقسم لفرق جهد البطارية (V_{DD})
لترانزستور ذو تأثير حقلى ذو قناة سالبة

القاعدة التى استخلصت في حالة الترانزيستور وهى أن التيار المار فى R_{B_1} ، R_{B_2} (بند 3-4) يساوى عشرة اضعاف تيار القاعدة I_B يمكن إستعمالها هنا وحيث أن تيار البوابة هو $I_G = I_{CO}$ (I_{CO} هو التيار العكسى) وذلك لأن الصمام الثنائى المتكون من البوابة والمصرف أو المصدر يكون هنا في حالة مانع وحيث أن الترانزيستور ذا التأثير الحقلى المستعمل هنا هو من مادة السيليكون وذا قناة سالبة لذا فإن $I_{CO} \cong 10^{-6}A$ أو أقل من ذلك وعلى هذا فإن تيار المقاومتين R_{G_1} ، R_{G_2} يساوى عشرة اضعاف قيمة التيار العكسى أى $I_{R_{G1}R_{G2}} = 10^{-5}A$. فرق الجهد V_{GS} يجب أن يكون ذا قيمة سالبة مقارنة

بالارضى (Ground) معنى هذا أن V_s يجب أن تكون اكبر من V_G . وباستخدام قاعدة كيرشهوف نحصل على (4-4)

$$V_{GS} + V_S = V_G > 0$$

$$V_G = -2.6 + V_S > 0 \Rightarrow V_S > 2.6V$$

لذا فإن $V_{GS} = V_G - V_s$ هى قيمة سالبة وبالتالى نحصل على فرق الجهد V_{GS} اللازم لعمل الترانزيستور .

إذا طُلب إيجاد قيم المقاومات المجهولة فى الدائرة الموجودة فى شكل (4-7) عند نقطة العمل $I_{DQ} = 1mA, V_{GSQ} = -2.6V$ وعندما يكون المصدر الكهربى المتوفر هو $V_{DD} = 15V$ فإننا نسلك الخطوات الآتية .

نظراً لما ذُكر آنفاً فإن V_{GS} يمكن أن تساوى V_S وعلى هذا فإن V_G تصبح تساوى صفر . لنختار قيمة V_S اكبر من V_{GS} المعطاة ولتكن $V_S = 3V$ وحيث أن :

$$I_D = 1mA$$

$$R_S = \frac{V_S}{I_D} = \frac{3}{1} = 3k\Omega$$

إذن

$$V_G = V_S + V_{GS} = 3 - 2.6 = 0.4V = V_{R_{G2}}$$

$$V_{DD} = V_{R_{G1}} + V_{R_{G2}} \Rightarrow V_{R_{G1}} = V_{DD} - V_{R_{G2}} = 15 - 0.4 = 14.6V$$

$$V_G = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{DD}$$

$$0.4 = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} \times 15 \Rightarrow R_{G1} = 36.5 R_{G2}$$

$$V_{R_{G2}} = I_{R_{G2}} \times R_{G2} \Rightarrow R_{G2} = \frac{V_{R_{G2}}}{I_{R_{G1}R_{G2}}} = \frac{0.4}{10^{-5}} = 40k\Omega$$

$$R_{G1} = 36.5 \times 40 = 1460\,k\Omega = 1.46\,M\Omega$$

$$g_{mo} = \frac{2I_{DSS}}{V_P} = \frac{2 \times 8}{4} = 4ms$$

$$I_D = I_{DSS}(1 - \frac{V_{GS}}{V_P})^2 \Rightarrow 1 = 8(1 - \frac{V_{GS}}{-4})^2 \Rightarrow$$

$$V_{GS} = -2.6$$

لايجاد قيمة R_D سنترك ذلك للباب الخامس (بند 5-7) الخاص بموضوع سلوك الترانزيستور ذي التأثير الحقلي عند مرور اشارة كهربية .

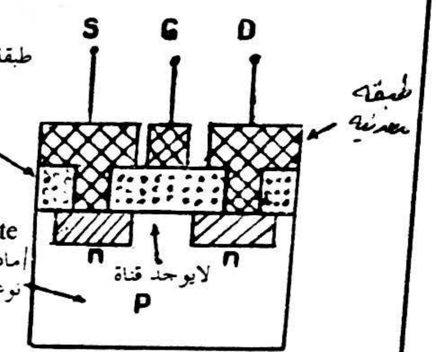
5-4) الترانزيستور ذو التأثير الحقلى بطبقة اكسيد معدنية عازلة (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistior, MOSFET) .

الترانزيستور ذي التأثير الحقلى بطبقة اكسيد معدنية عازلة (MOSFET) هو من فصيلة الترانزيستور ذو التأثير الحقلى (FET) ولكن السلك الموصل لبوابته معزول عن القناة بواسطة طبقة من اكسيد السيليكون (SiO_2) ومنه يوجد نوعان وفي الجدول الآتى تركيب وطريقة عمل وخصائص كل منها .

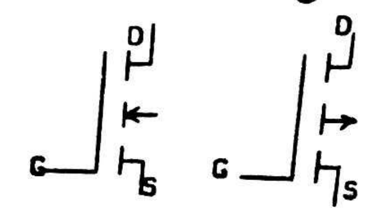
MOSFET

ترانزيستور ذو تأثير حقلى بقناة قابلة للأنشاء Enhancement MOSFET

– التركيب :



– الاصطلاح العلمى

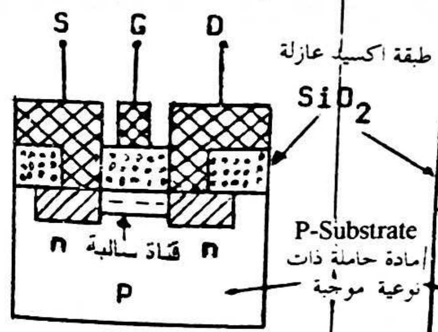


مادة حاملة ذات نوعية موجبة قناة سالبة تنشأ — مادة حاملة ذات نوعية سالبة قناة موجبة تنشأ

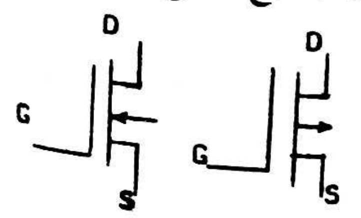
شكل (4-9)

ترانزيستور ذو تأثير حقلى بقناة قابلة للتفريغ Depletion MOSFET

– التركيب :



– الاصطلاح العلمى



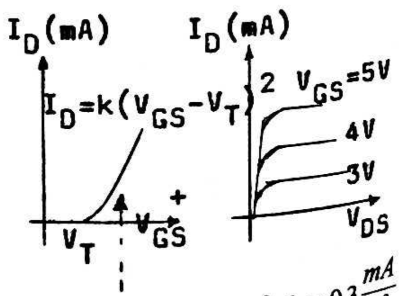
مادة حاملة سالبة بقناة موجبة — مادة حاملة ذات نوعية موجبة بقناة سالبة

شكل (4-8)

ترانزيستور ذو تأثير حقلى بقناة سالبة قابلة للأنشاء

– الخصائص :

عند توصيل المصرف (D) بالقطب الموجب للبطارية وقطبها السالب مع المصدر (S) فإن تيارا سوف لا يستطيع المرور بسبب عدم وجود قناة تصل بين المصرف والمصدر ولكن عند توصيل البوابة (G) بالقطب الموجب لبطارية اخرى قطبها السالب مع المصدر (S) فإن الجهد الموجب المتصل بالبوابة سيقوم بجذب عدد من الألكترونات الحرة الموجودة فى المادة الحاملة ذات النوعية الموجبة فى المنطقة القريبة والموجودة بين المصرف والمصدر مما يؤدى الى إنشاء قناة سالبة ومرور تيار (I_{DS}) (n-channel) الذى يمكن التحكم بشدته عن طريق جهد البوابة عند ثبوت فرق الجهد V_{DS} وعلى هذا فإن خصائص هذا الترانزيستور تكون كما هو مبين في شكل (4-10) .



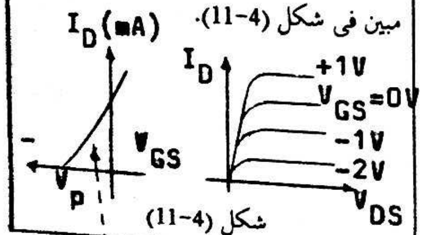
$$I_D = k(V_{GS} - V_T)^2, k \cong 0.3 \frac{mA}{V^2}$$

شكل (4-10)

ترانزيستور ذو تأثير حقلى بقناة سالبة قابلة للتفريغ

– الخصائص :

عند توصيل المصرف (D) بالقطب الموجب للبطارية وقطبها السالب مع المصدر (S) فإن تياراً (I_{DS}) سيمر خلال الترانزيستور وعند توصيل البوابة (G) مع القطب السالب لبطارية أخرى وقطبها الموجب مع المصدر (S) فإن الجهد السالب المتصل مع البوابة سيقوم بطرد(ابعاد) بعض الألكترونات من القناة السالبةجاعلاً قدرتها على التوصيل أقل وبالتالى يمكن التحكم فى شدة التيار (I_{DS}) . كذلك يمكن التحكم فى هذا التيار بتوصيل البوابة مع القطب الموجب للبطارية الثانية وقطبها السالب مع المصدر (S) وبالتالى فإن الجهد الموجب المتصل الأن مع البوابة يقوم بجذب المزيد من الألكترونات الحرة من المادة الحاملة ذات النوعية الموجبةالى القناة السالبة وجعلها اكثرقدرة على التوصيل وبالتالى يمكن أيضاً التحكم فى شدة التيار (I_{DS})وعلى هذا فإن خصائص هذا الترانزيستورتكون كماهو مبين فى شكل (4-11).



شكل (4-11)

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2$$

ملاحظة : وضع الترانزيستور ذو التأثير الحقلى ذو البوابة المعزولة (MOSFET) في الدوائر الألكترونية يشبه تماما الترانزيستور ذو التأثير الحقلى (FET).

4-6) مقارنة بين الترانزيستور والترانزيستور ذو التأثير الحقلى

الترانزيستور	الترانزيستور ذو التأثير الحقلى
1) اكثر ضوضاء .	1) أقل ضوضاء لذا يستخدم في مداخل ودوائر المضخمات .
2) مقاومة مدخلة صغيرة .	2) مقاومة مدخلة كبيرة قد تزيد عن $10^8 \Omega$.
3) حساس الى الأشعاعات .	3) أقل حساسية للأشعاعات .
4) حساس لتغير درجات الحرارة .	4) أقل حساسية لهذا التغير وبالتالى أفضل .
5) إمكانية تلفة قليلة .	5) سهل التلف .
6) عند استعماله كمفتاح يبقى دائماً عليه بعض فرق الجهد .	6) هذه الظاهرة هنا تقريباً غير موجودة
7) عرض النطاق الترددى المتوسط كبير (larger gain bandwidth)	7) عرض النطاق الترددى المتوسط صغير .
8) التحكم به عن طريق تيار القاعدة .	8) التحكم به عن طريق جهد البوابة .

تمارين على الباب الرابع

(4-1) ما هى اقطاب الترانزيستور ذو التأثير الحقلى JFET .

(4-2) اذكر الفرق بين ترانزستور ذو تأثير حقلى ذو قناة موجبة و ذو قناة سالبة من حيث التركيب ، الجهود على أقطابه وكذلك اتجاه التيار المار من خلاله .

(4-3) ارسم منحنى خصائص الخروج لترانزيستور ذو تأثير حقلى بقناة موجبة موضحاً مناطق العمل لهذا الترانزيستور .

(4-4) ما هو تيار التشبع العكسى لترانزيستور ذو تأثير حقلى ولما تكون قيمته ثابتة بالرغم من تغير الجهد بين طرفى الترانزيستور D,S ؟

(4-5) ما هو المقصود بجهد التلامس وماذا يترتب على وصول الجهد V_{DS} الى هذه القيمة ؟

(4-6) اشرح تركيب ترانزستور ذي تأثير حقلى بطبقة اكسيد معدنية عازلة واذكر انواع هذا الترانزيستور .

(4-7) ما هى أوجه الشبه والاختلاف بين ترانزستور ذي تأثير حقلى وترانزستور ذى تأثير حقلى بطبقة اكسيد معدنية عازلة ؟

(4-8) كيف تفرغ قناة ترانزستور MOSFET ذي قناة قابلة للتفريغ وكذلك كيف تنشأ القناة من ذلك نوع MOSFET ذي قناة قابلة للانشاء وما هو تأثير ذلك على التيار I_D ؟

9) ارسم قطاع لترانزيستور ذي تأثير حقلي ذي قناة سالبة موضحا اقطاب البطاريات الموصلة بين أقطابه وكذلك اتجاه التيار أو التيارات المارة خلاله .

10) كرر السؤال 9 لترانزيستور ذي تأثير حقلي بطبقة اكسيد معدنية عازلة ذي قناة قابلة للانشاء موجبة .

الباب الثانى عشر

دوائر المنطق الرقمية

Digital Logic Circuits

(12–1) تمهيد :

تبنى دوائر المنطق الرقمية عادة من الصمامات والترنزيستورات أو الترنزيستورات ذات التأثير الحقلى (FET) أو ذات طبقة اكسيد معدنية (MOSFET) . تعمل هذه الترنزيستورات بين منطقتى التشبع (سامح) (Saturation Region) (بعضها فى منطقة النشاط) ومنطقة القطع (مانع) (Cutoff Region) . اذا كان فرق الجهد المستخدم $V_{CC} = 5V$ وكان الترنزيستور فى دائرة الباعث المشترك فى حالة مانع فان فرق الجهد V_{CC} سيقع عند مخرج الترنزيستور . سنرمز الى فرق الجهد هذا بأحد الرموز الأتية :

1 , Logic 1 , High (H) , Yes , True

اما اذا كان الترنزيستور فى حالة سامح فان فرق الجهد عند مخرج هذا الترنزيستور سيكون مساوياً تقريباً" ($V_o = 0V$) . سنرمز الى فرق الجهد هذا بأحد الرموز الأتية :

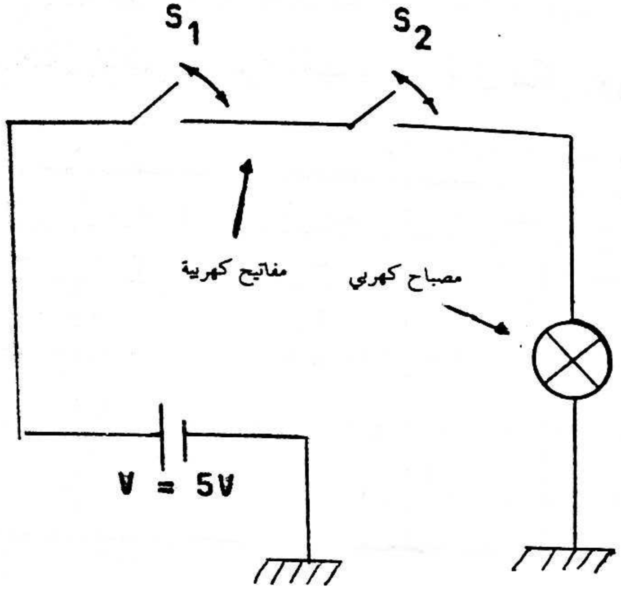
0 , Logic0 , Low (L) , No , False

معظم دوائر المنطق المستخدمة فى الحاسوب (الكمبيوتر) تتألف من دوائر المنطق الأساسية الأتية :

1) دائرة المنطق (AND) (AND-GATE) .
2) دائرة المنطق (OR) (OR-GATE) .
3) دائرة تغيير المنطق (I) (NOT GATE or INVERTER) .
4) دائرة ابقاء المنطق أو الباعث التابع (Emitter Follower) .

12–2) دائرة المنطق (AND) (AND-GATE)

شكل (12–1) يبين دائرة كهربية تحتوى على مفتاحين مع مصباح كهربى وبطارية . اذا اغلق المفتاح S_1 وبقي المفتاح S_2 مفتوحاً فإن الدائرة ستبقى مفتوحة والمصباح سوف لا يضىء . اذا عكس الوضع السابق للمفتاحين فان المصباح سوف لا يضىء ايضاً . المصباح سوف يضىء فقط عندما نغلق المفتاح S_1 ، والمفتاح S_2 وغير ذلك سوف يبقى المصباح غير مضىء .



شكل (12–1)
دائرة كهربية لتبسيط فكرة دائرة المنطق AND

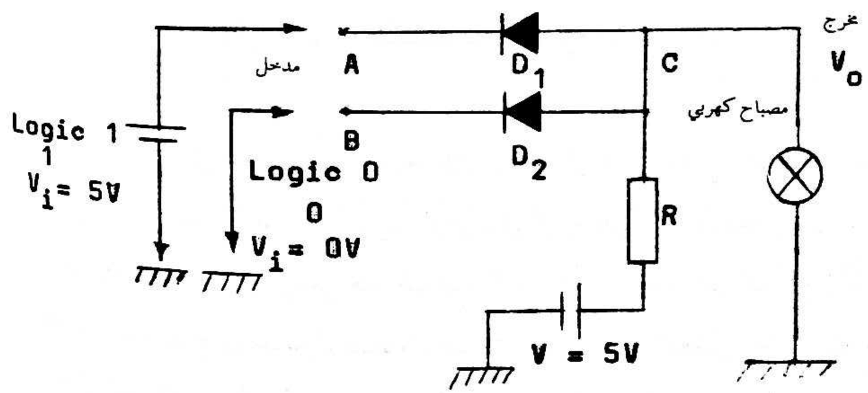
سنرمز الى المفتاح المغلق بالرمز (1) او (منطق 1) وللمفتاح غير المغلق بالرمز (0) أو (منطق 0) وللمصباح المضىء بالرمز (1) أو (منطق 1) وللمصباح غير المضىء بالرمز (0) أو (منطق 0) وعلى هذا نستطيع كتابة جميع الأحتمالات الممكنة لأوضاع المفاتيح والمصباح في جدول سنطلق عليه اسم الجدول المنطقي (Truth Table) . جدول (12–1) يبين أن المصباح سوف يضىء (1) فقط عندما يكون كل من المفتاحين S_1 و S_2 منطق 1 . الدائرة الكهربية السابقة يطلق عليها اسم دائرة المنطق (AND) .

جدول (12–1)

الجدول المنطقى للدائرة الكهربية المبينة في شكل (12–1)

مفتاح S_1		مفتاح S_2		المصباح	
مغلق	مفتوح	مغلق	مفتوح	مضيء	غير مضيء
	0		0		0
1			0		0
	0	1			0
1		1		1	

دائرة المنطق (AND) المبينة في شكل (12–1) يمكن تحقيقها بواسطة دائرة الكترونية وذلك باستخدام الصمامات الثنائية وذلك كما هو مبين في شكل (12–2) .



شكل (12–2)

دائرة منطق (AND)

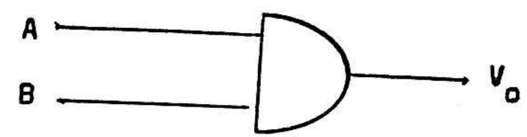
لفهم عمل هذه الدائرة نوصل المدخل (A) بواسطة مصدر كهربي جهده ($V_i = +5V$) اي(Logic 1)ونوصل المدخل (B) بالأرضى أي ($V_i = 0V$) اي (Logic 0) كما هو مبين في شكل (12–2) . في هذه الحالة نلاحظ أن الصمام (D_2) يكون في حالة سامح في حين يكون الصمام (D_1) في حالة مانع وهذا يعنى أن النقطة (C) تكون متصلة بالأرضى عن طريق الصمام (D_2) أي ان طرفي المصباح متصلان بالأرضي وعلى هذا فانه لا يضيء . لايضيء المصباح أيضاً اذا عكسنا الوضع او اذا ادخلنا (Logic 0) على كل من المدخلين . المصباح يضيء فقط عندما ندخل (Logic 1) عند كل من المدخلين فى هذه الحالة يصبح كل من الصمامين فى حالة مانع وان النقطة (C) تكون متصلة بالقطب الموجب للبطارية (V) عن طريق المقاومة (R) أي (Logic 1) . الجدول المنطقي (12–2) يبين جميع الاحتمالات لدائرة المنطق المبينة في شكل (12–2) .

جدول (12–2)

الجدول المنطقى لدائرة المنطق (AND)

A	B	V_o
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

الأصطلاح العلمي لدائرة المنطلق (AND) مبينة في شكل (12-3) .



شكل (12-3)

الاصطلاح العلمى لدائرة المنطق (AND)

من جدول (12-2) نلاحظ بان العمليات الحسابية التى تمت بين (A و B) والنتيجة (V_o) هي عمليات ضرب حسابية عادية كما يلي :

0 .0 = 0 ، 0 . 1 =0 ، 1 . 0=0 ، 1 . 1 =1

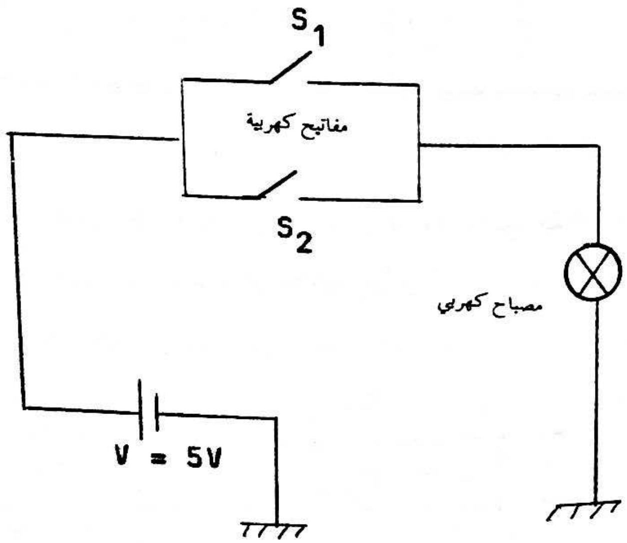
وبشكل عام نستطيع كتابة العلاقات السابقة كما يلى :

$(A.B = V_0)$ أو $(AB = V_0)$ (1-5)

حيث ان كل من (A) و (B) تأخذ الاحتمالات 1 أو 0 . العلاقة (1-5) تقرأ A AND B تساوي V_o .

12-3 دائرة المنطق (OR) (OR-GATE)

شكل (12-4) يبين دائرة كهربية تحتوى على مفتاحين مع مصباح كهربي وبطارية . في هذه الدائرة سيضىء المصباح (Logic 1) اذا اغلق أي من المفتاحين أو كلاهما . المصباح سوف لا يضىء (Logic 0) فقط عندما يكون كل من المفتاحين غير مغلقين أي (Logic 0) . جدول (12-3) يبين جميع الاحتمالات للدائرة المبينة في شكل (12-4) .



شكل (12-4)

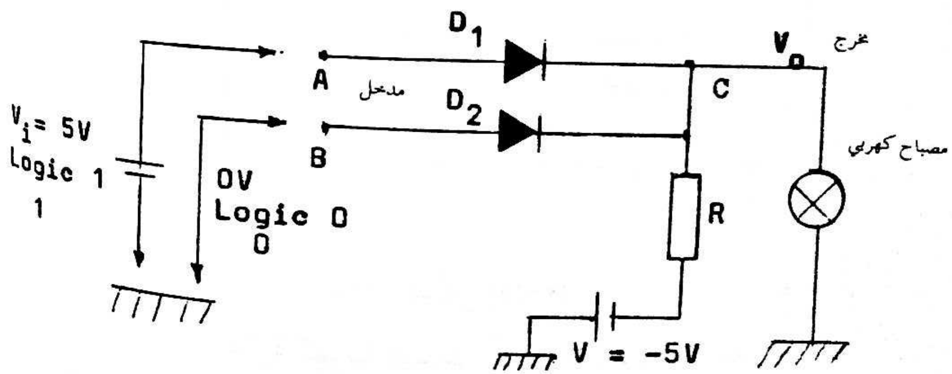
دائرة كهربية لتبسيط فكرة دائرة المنطق (OR)

جدول (12–3)

الجدول المنطقي للدائرة الكهربية المبينة في شكل (12–4)

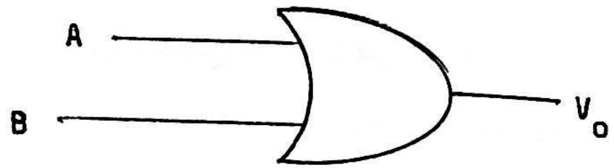
مفتاح S_1		مفتاح S_2		المصباح	
مغلق	مفتوح	مغلق	مفتوح	مضيء	غير مضيء
	0		0		0
1			0	1	
	0	1		1	
1		1		1	

دائرة المنطق (OR) المبينة في شكل (12–4) يمكن تحقيقها بواسطة دائرة الكترونية وذلك باستخدام الصمامات الثنائية وذلك كما هو مبين في شكل (12–5) واصطلاحها العلمي المبين في شكل (12–6) .



شكل (12–5)

دائرة المنطق (OR)



شكل (12–6)

الاصطلاح العلمى لدائرة المنطق (OR)

شكل (12–5) يبين دائرة الكترونية تحتوى على صمامين ثنائيين بلوريين بدلاً من المفاتيح الكهربية في شكل (12–4) والتي تعطينا دائرة المنطق (OR). لفهم عمل هذه الدائرة نوصل المدخل (A) بواسطة مصدر كهربى جهده ($V_i = +5V$) كما هو مبين فى الشكل ونوصل المدخل (B) بالأرضى أي ($V_i = 0V$) . نلاحظ الأن أن الصمام (D_1) في حالة سامح وهذا يعنى بأن جهد النقطة (C) يساوى (+ 5 V) في حين ان مدخل الصمام (D_2) متصل بالبطارية الأخرى والتى جهدها يساوى أيضاً (+ 5 V) وهذا يعنى انه لا يوجد فرق جهد على طرفي الصمام (D_2) ولذا فانه يبقى فى حالة مانع وان المصباح سوف يضيء عن طريق الصمام (D_1) . المصباح سوف يضيء عند عكس الوضع السابق وكذلك اذا ادخلنا (Logic 1) عند كل من المدخلين . المصباح سوف لا يضيء فقط عندما ندخل (Logic 0) عند المدخلين . جدول (12–4) يبين الاحتمالات الممكنة التى يمكن ادخالها عند مدخل دائرة المنطق (OR) ومتى يضى المصباح .

جدول (12–4)

جدول منطقي لدائرة المنطق (OR)

A	B	$V_0 = A + B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

من الجدول المنطقي السابق نلاحظ ان دائرة المنطق (OR) وكأنهـا تقـوم بعملية جمع للأرقام 0 و 1 وعلى هذا نكتب نتيجة المخرج بشكل عام كما يلي :

$$V_0 = A + B$$

وتقرأ V_0 تساوي A OR B

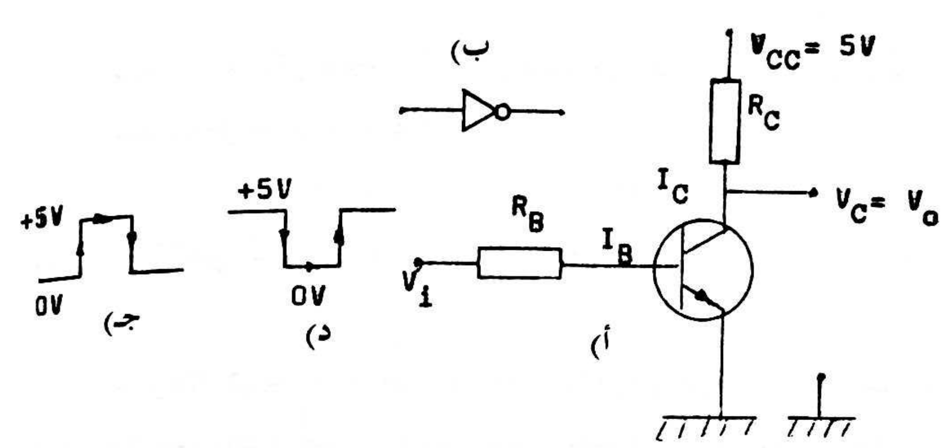
ملاحظة :

دوائر المنطق (AND) ، (OR) المبينة في الأشكال السابقة لا تقتصر فقط على

مدخلين وإنما يمكن استخدام اكثر مـن صمـامين . عـدد الصمامـات يعطينـا عدد المداخل لدوائر المنطق هذه .

12–4) دائرة تغيير المنطق (NOT-GATE or Inverter)

شكل (12–7) يبين دائرة تغيير المنطق (Inverter) وهي عبارة عن دائرة باعث مشترك لترنزيستور (npn) يعمل بين منطقة التشبع ومنطقة مانع ، عند ادخال منطـق موجب (Positive Logic) اي اشارة كهربية مربعة موجبة عند مدخل هذه الدائـرة اي بين القاعدة والباعث بشرط ان التيار المار عـبر المقاومـة (R_B) الى القـاعدة يكـون ذا قيمة معينة بحيث يتحقق الشرط ($\beta I_B > I_C$) عند ذلك يصبح الترنزيستور في حالـة تشبع وان فرق الجهـد V_C ($V_0 = V_C$) سيسـاوى عندئـذ جهـد الارضي تقريبـاً اي (OV) أو (Logic 0) اما اذا أدخلنا عند القاعدة(OV) أو (Logic 0) فـان الترنزيسـتور سيصبح في حالة مانع وان فرق الجهد (V_C) سيساوى فرق جهد المصدر الكهربـي (V_{CC}) (أي 5V +) . مـن هنا نرى انه عندما يكون عند مدخل الترنزيستور منطـق 1 (Logic 1) فانه يكون عند مخرجه منطق 0 (Logic 0) وعندما يكـون عنـد مدخلـه منطق 0 (Logic 0) فأنه يكون عند مخرجه منطق 1 (Logic 1) اي ان هذه الدائرة تقوم بقلب الاشارة الداخلة الى العكس . نتائج هذه الدائرة موضح في جدول (12–5) .



شكل (12–7)

أ) دائرة تغيير المنطق (Inverter)

ب) الأصطلاح العلمي لدائرة تغيير المنطق

جـ) اشارة كهربية منطق موجب (Positive logic)

د) اشارة كهربية منطق سالب (Negative Logic)

في شكل (12–7جـ ،د) قمنا بالتعرض لمصطلح جديد وهو المنطق الموجب وكذلك المنطق السالب وتعريف كل منهما هو : نفترض ان لدينا دائرة كهربية تحتوى على بطارية ومقاومة ومفتاح متصلة جميعاً على التوالى فعند اغلاق الدائرة ثم فتحها تكون الاشارة على طرفي المقاومة على شكل موجة مربعة كما يظهر ذلك في شكل (12–7جـ) وهذا هو المنطق الموجب وهو عبارة عن موجة مربعة الحافة القائدة (عند الأغلاق) تبدأ من فرق جهد مقداره (0V) ثم ترتفع قيمته الى الذروة وأما الحافة اللاحقة (عند الفتح) فتبدأ من ذروة الموجة المربعة وتنتهى بالصفر . أما المنطق السالب هو عند فتح الدائرة ثم غلقها فتكون الاشارة على شكل موجة مربعة تبدأ حافتها

القائدة (عند الفتح) من قيمة فرق جهد معين ثم تخبو الى الصفر واما حافتها اللاحقة (عند الاغلاق) فتتغير من القيمة صفر الى ذروة الموجة المربعة شكل (12–7د) .

جدول (12–5)

الجدول المنطقى لدائرة تغيير المنطقة

V_i	V_0
0	1
1	0

12–5) دائرة ابقاء المنطق أو الباعث التابع (Emitter Follower)

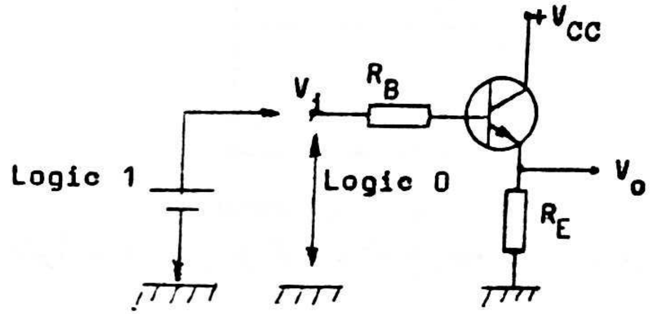
شكل (12–8) يبين دائرة ابقاء المنطق أو الباعث التابع وطريقة عملها يتلخص فيما يلى :

عند إدخال اشارة كهربية منطق موجب (logic 1) عند مدخل هذه الدائرة فإن الترنزيستور يصبح في حالة سامح ويكون فرق جهد الأشارة الداخلة مساوياً لفرق جهد المخرج (V_0) زائداً فرق الجهد (V_{BE}) والذى يمكن اهماله هذا يعنى أن فرق جهد الأشارة الداخلة (V_i) سيكون مساوياً تقريباً لفرق جهد الأشارة الخارجة (V_0) . عند إدخال Logic 0 أو 0V عند مدخل الدائرة فإن الترنزيستور سيصبح في حالة مانع وبالتالى فإن فرق جهد المصدر الكهربي (V_{CC}) سيكون واقعاً جميعه على الترنزيستور بين الباعث والمجمع (V_{CE}) ولا شيء يكون واقعاً على المقاومة (R_E) أي

عند مخرج الدائرة أي فرق جهد المخرج يكون صفراً . وبناء على ما سبق يمكن كتابة ما يلي :

$$V_i = V_{BE} + V_0 = V_{BE} + V_{R_E} \quad , \quad V_{BE} \approx 0$$

$$V_i \approx V_0 = V_{R_E}$$



شكل (12–8)

دائرة ابقاء المنطق أو الباعث التابع

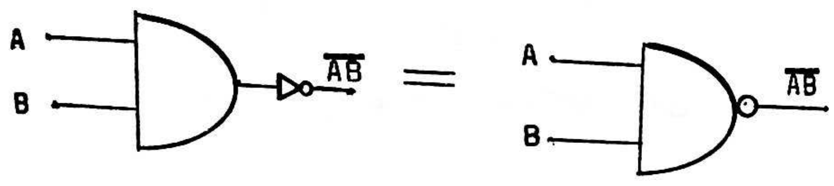
جدول (12–6)

الجدول المنطقى لدائرة ابقاء المنطق

V_i	V_0
0	0
1	1

12–6) دائرة المنطق (NOT-AND) أو باختصار دائرة المنطق (NAND)

من الأسم يتبين لنا ان هذه الدائرة هى دائرة منطق مركبة من دائرة المنطق (AND) ودائرة تغيير المنطق (Inverter) كما هو مبين في شكل (12–9أ) واصطلاحها العلمي المبين في شكل (12–9ب) .



(أ) (ب)

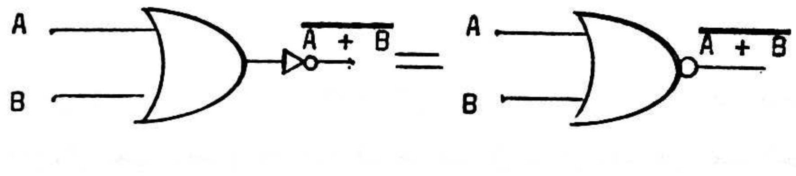
شكل (12–9)

دائرة منطق (NAND) واصطلاحها العلمى

الجدول المنطقى لهذه الدائرة هو عكس الجدول المنطقى لدائرة المنطق (AND) .

12–7) دائرة المنطق (NOT - OR) أو دائرة المنطق (NOR)

كما كان الحال في دائرة المنطق (NAND) فان دائرة المنطق (NOT - OR) تتكون من دائرة المنطق (OR) وتتبع بدائرة منطق (Inverter) كما هو مبين في شكل (12–10أ) واصطلاحها العلمي مبين في شكل (12–10ب) .



(أ) (ب)

شكل (12–10)

دائرة المنطق (NOR) واصطلاحها العلمى

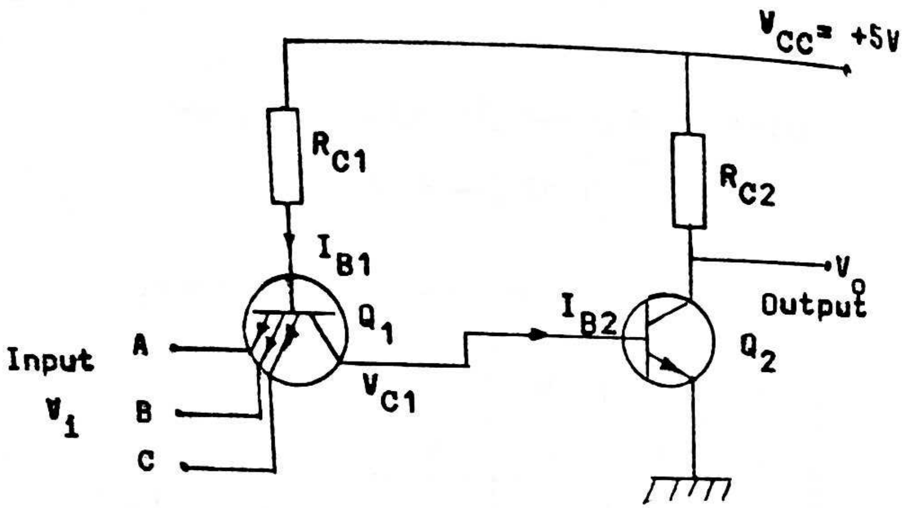
الجدول المنطقي لهذه الدائرة هو عكس الجدول المنطقي لدائرة المنطق (OR)

ملاحظة :

الشرطة الموضوعة فوق AB في بند (12–6) وكذلك في بند (12–7) تعنى نفي النتيجة AB . دائرة المنطق NAND ودائرة المنطق NOR يمكن ان تبنى بطريقتين :

الطريقة الاولى :

باستخدام الصمامات الثنائية وترنزيستور كدائرة تغيير منطق كما هو معروف من البنود السابقة ، هذا النوع من دوائر المنطق يسمى دائرة صمام ترنزيستور (Diode-Transistor Logic , DTL) . هناك طرق أخرى لبناء دوائر NOR، NAND وذلك باستخدام الترنزيستورات فقط وهذا النوع من دوائر المنطق يسمى دوائر منطق ترنزيستور ترنزيستور (Transistor Transistor - Logic , TTL) . شكل (12–11) يبين دائرة NAND باستخدام تكنولوجيا ترنزيستور ترنزيستور TTL .



شكل (12–11)

دائرة منطق (NAND) باستخدام (TTL)

لفهم عمل هذه الدائرة نفترض ان Logic 0 على احدى هذه المداخل أو على جميعها معنى هذا أن الترنزيستور (Q_1)في حالة سامح (تشبع) هذا يعنى ان المجمع من (Q_1) متصل الآن بالأرضى وهذا يعنى بأن قاعدة الترنزيستور (Q_2) متصلة بالارضى وهذا يعنى بأن الترنزيستور (Q_2) فى حالة مانع أي أن ($V_0 = +5V$) أي Logic 1 أما اذا كان على جميع المداخل Logic 1 فان الترنزيستور (Q_1) الأن في حالة مانع أما الترنزيستور (Q_2) فيصبح فى حالة سامح نتيجة أن قاعدته الآن متصلة (عبر الصمام المكون من قاعدة ومجمع الترنزيستور (Q_1) والذى هو الآن أيضاً في حالة سامح) عبر المقاومة R_{C1} بالقطب الموجب للمصدر الكهربائى (V_{CC}) وهذا يعنى ان ($V_0 = 0V$) أي Logic 0 . جدول (12–7) يبين الأحتمالات الممكنة لمدخل هذه الدائرة وتأثير ذلك على مخرج كل من Q_1 ، Q_2 .

جدول (12–7)

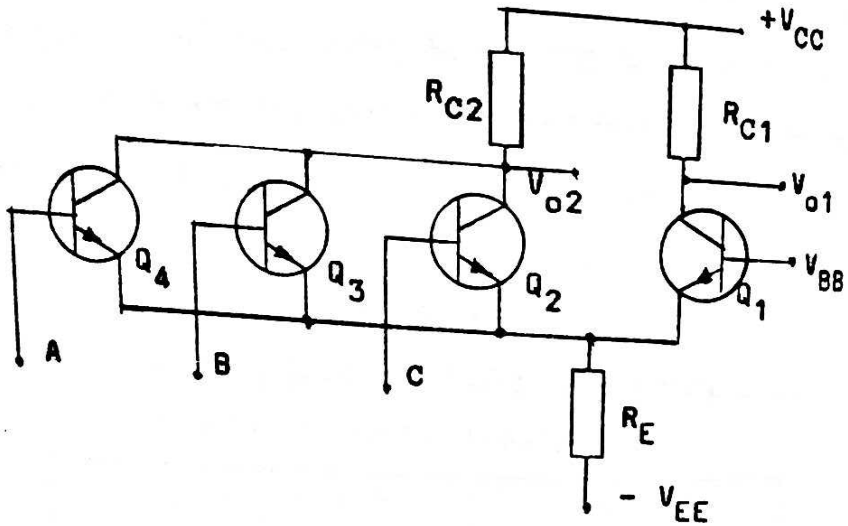
الجدول المنطقى لدائرة المنطق المبينة في شكل (12–11)

دائرة منطق NAND

A	B	C	V_{C_1}	$V_o = \overline{V}_{C_1}$
0	0	0	0	1
1	0	0	0	1
0	1	0	0	1
1	1	0	0	1
0	0	1	0	1
1	0	1	0	1
0	1	1	0	1
1	1	1	1	0

شكل (12–12) يبين دائرة NOR وفي نفس الوقت دائرة منطق OR باستخدام دوائر منطق ترنزيستور ترنزيستور (TTL) . هذه الدوائر الالكترونية عبارة عن مضخم تفاضلي مع فارق بسيط وهو توصيل إحدى الترنزيستورين على التوازي بعدد من الترنزيستورات الأخرى للحصول على العدد المطلوب من المداخل لهذه

الدائرة ، يوجد لهذه الدائرة وكما هو معروف مخرجان (V_{01}، V_{02}) احدهما يعطينا نتائج دائرة المنطق NOR والأخر يعطينا نتائج دائرة المنطق OR .



شكل (12–12)

دائرة منطق (OR , NOR) باستخدام تكنولوجيا ترانزيستور ، ترانزيستور (TTL) .

لفهم عمل هذه الدائرة ندخل اشارة كهربائية Logic 1 على إحدى مداخل هذه الدائرة أو على أكثر من مدخل وبأي ترتيب بغض النظر عن المداخل الغير مستخدمة سواء أكانت متصلة بالأرضى Logic 0 أو لا فإن الترنزيستور (Q_i) (i=2 , 3 , 4) سيصبح في جميع هذه الحالات في حالة سامح أي ($V_{02} = 0V$) ($V_{02} = Logic0$) . هذه الاشارة تظهر عند باعث الترنزيستور (Q_i) وبالتالى أيضاً عند باعث الترانزيستور (Q_1) بدون فرق في الزاوية ولكنها تظهر بفرق في الزاوية مقداره °180 عند قاعدة الترنزيستور (Q_1) هذا يعنى بأن Logic 1 عند قاعدة (Q_1)

تظهر Logic 0 عند قاعدة (Q_1) وبالتالى فان الترنزيستور (Q_1) يصبح في حالة مانع وهذا يعنى أن $V_{01} = logic1$. إذا ادخلنا على جميع مداخل هذه الدائرة وبدون استثناء (0) Logic هذا يعنى بأن Q_2 ، Q_3 ، Q_4 ستصبح في حالة مانع أي ($V_{02} = logic1$) وأن الترنزيستور Q_1 يصبح فى حالة سامح أي ($V_{01} = logic0$) . مخرج دائرة المنطق OR يؤخذ من V_{01} وأما مخرج دائرة المنطق NOR فيؤخذ من (V_{02}) . جدول (12–8) يوضح ذلك .

جدول (12–8)

الجدول المنطقى لدائرة المنطق المبينة في شكل (12–12)

A	B	C	$V_{01} = A+B+C$	$V_{02} = \overline{A+B+C}$
0	0	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	1	0
1	0	0	1	0
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	0

12–8) دوائر متعددة الأهتزازات (أو الذبذبات) (Multivibrators)

كما ذكرنا في بند (12–1) بأن هناك مجموعة أخرى من دوائر المنطق على جانب كبير من الأهمية وهي الدوائر متعددة الأهتزازات . من أهم خصائص هذا النوع من دوائر المنطق أن لها وضعين وكل وضع له مخرجان . إذا كان أحدهما Logic 1 فإن الأخر يكون (Logic 0) وهذا الوضع يُسمى وضع (SET, S) أما إذا عُكس الوضع السابق فنسمى الوضع الجديد بوضع (RESET, R) .

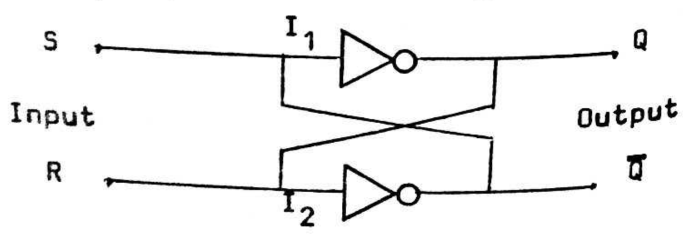
1) المتذبذب ذو الوضعين المستقرين (أو فليب فلوب)

Bistable Multivibrator (Flip -Flop,FF)

دائرة المنطق فليب فلوب هي أهم دائرة في دوائر متعددة الأهتزازات ويمكن بناؤها بعدة طُرق منها :

أ) باستخدام دائرتي تغيير منطق (Inverters)

شكل (12–13) يوضح دائرة فليب فلوب بإستخدام دائرتي تغيير منطق



شكل (12–13)

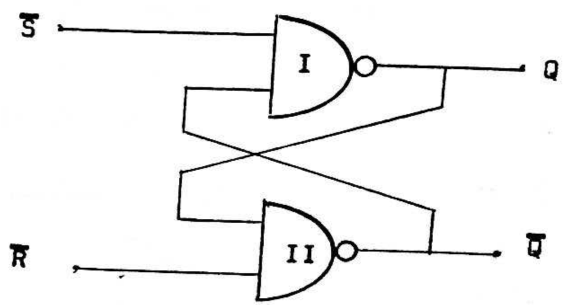
دائرة متعددة الأهتزازات ذو وضعين

مستقرين بإستخدام دائرتى تغير منطق

طريقة عمل هذه الدائرة هو كما يلى : لنفرض أن Logic 1 وضُع عند مدخل دائرة تغيير المنطق (I_1) عندئذ تقوم دائرة تغيير المنطق (I_1) بتحويل (Logic 1) الى (Logic 0) وحيث أن مخرج دائرة تغيير المنطق (I_1) متصل مع مدخل دائرة تغيير المنطق (I_2) فإن هذه الدائرة (I_2) تقوم بتحويل (Logic 0) الى (Logic 1) والذى هو بالتالى موجود عند مدخل دائرة التغيير (I_1) ويبقى هذا الوضع ثابتا طالما لم يؤثر عليه مؤثر خارجى .

ب) بإستخدام دائرتي منطق (NAND أو NOR)

يُطلق على هذا النوع من دوائر المنطق اسم SR- لاتش (SR-Latch) . شكل (12-14) يوضح دائرة منطق SR- لاتش باستخدام دائرتي منطق NAND وطريقة عملها تتلخص فيما يلى :



شكل (12-14)

SR- لاتش (SR-Latch)

لنفترض أن الوضع الذى استقرت عليه الدائرة لحظة أغلاقها هو Q=1 فهذا يعنى أن $\overline{Q}=0$ فعند إدخال الاحتمال $\overline{S}=1$ ، $\overline{R}=0$ سنجد أن Q أصبحت تساوى 0 وأن $\overline{Q}$ فستتحول الى 1 . عند ادخال الإحتمال $\overline{S}=0$ ، $\overline{R}=1$ فسنجد ان $Q=1$ ، $\overline{Q}=0$ ، وعند ادخال الأحتمال $\overline{S}=1$ ، $\overline{R}=1$ فسنجد أن قيمة Q تبقى دون تغيير أُما عند ادخال الأحتمال $\overline{S}=0$ ، $\overline{R}=0$ فسنجد أن قيمة Q غير معروفة وتتغير بطريقة غير منتظمة . الجدول المنطقى لهذه الدائرة مبين في جدول (12-11) .

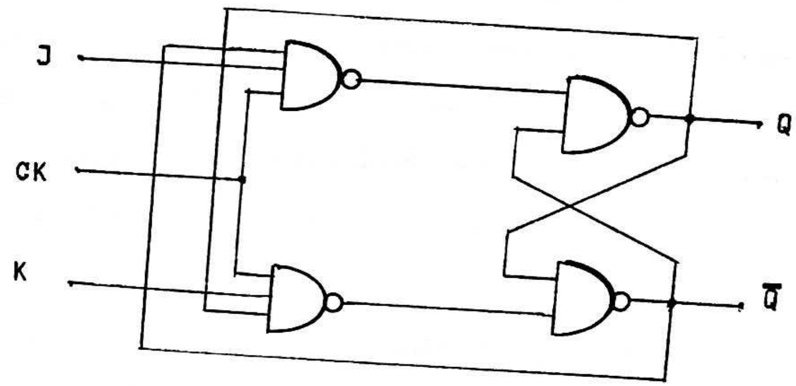
جدول (12-11)

الجدول المنطقى لدائرة المنطق SR- لاتش

$\overline{R}$	$\overline{S}$	Q
0	1	0 Reset
1	0	1 Set
1	1	no change لاتغير من الحالة السابقة
0	0	unknown غير معروف

ج) JK – فليب – فلوب :

شكل (12–15) يبين تصميم دائرة JK– فليب – فلوب .



شكل (12–15)

دائرة JK – فليب – فلوب

هذه الدائرة تعتبر من أهم أنواع الفليب – فلوب وذلك لخصائصها التى لا يتوفر مثلها فى الدوائر السابقة وعلى هذا فإنها وكما سنري من طريقة عملها أنه يمكن أن تستعمل كمدخر للمعلومات (Register) وأيضا كموصل للمعلومات (Schift Register) ولذا فهي تدخل بأعداد ضخمة في صناعة الحاسوب (Computer) . لمعرفة طريقة عمل هذه الدائرة نبدأ عندما يكون المخرج في حالة SET أي أن Q = Logic 1 ، $\overline{Q}$ = Logic 0 والأن ندخل عند مدخلى دائرة المنطق الأحتمال J = Logic 1 ، K = Logic 0 أما المدخل الثالث (CK) المبين بالشكل

فلنأخذ (Logic 1) أيضاً (CK مختصرة من Clock وهي دائرة كهربية تعطينا إشارات كهربائية مربعة) . .بمتابعة انتقال مخارج دوائر المنطق نجد بأن المخرج سيبقى في حالة SET أما اذا عكسنا إشارتى المدخل أي J = Logic 0 ، K = logic 1 فإن الحالة SET ستبقى كما هى طالما لا يوجد اشارة كهربائية أي (Logic 1) عند المدخل CK أما عند ظهورها فبمتابعة مخارج دوائر المنطق سنجد بأن إشارتى المنطق الداخلة قد ظهرت عند المخرج أي في حالة إفتراضنا الأخير سيكون Q = Logic 0 ، $\overline{Q}$ = Logic 1 ، أما إذا اعطينا J = Logic 1 وكذلك K = Logic 1 فإن وضع المخرج سوف يتغير كلما ظهرت اشارة كهربائية مربعة عند المدخل الثالث (CK) . جدول (12–12) يبين الجدول المنطقي لدائرة JK– فليب–فلوب .

جدول (12–12)

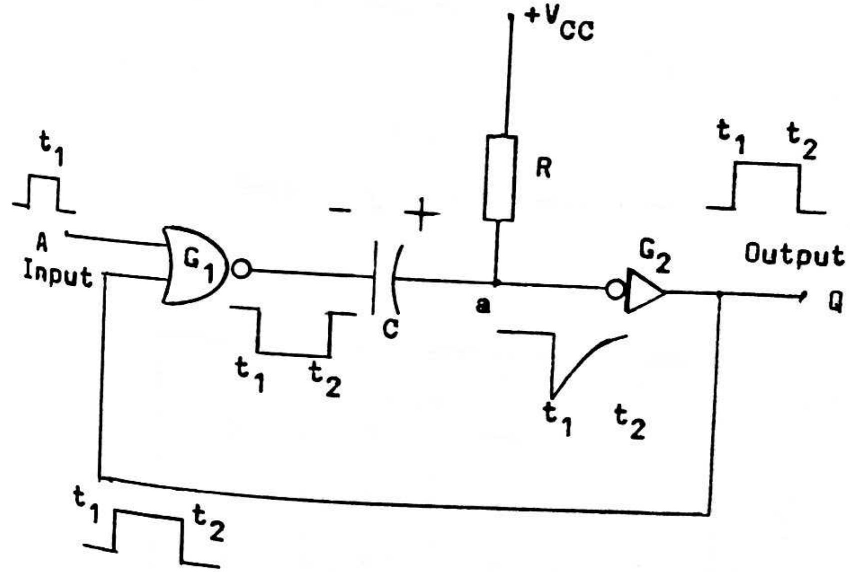
الجدول المنطقي لدائرة JK– فليب–فلوب .

J	K	Q	$\overline{Q}$
--	--	1	0
0	0	1	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	toggle يتغير باستمرار	

2) متذبذب ذو وضع مستقر واحد

(Monostable Multivibrator, one - shot)

هذه الدائرة تستخدم فى دوائر الحاسوب باعداد أقل من تلك التى تستخدم بها دائرة JK – فليب – فلوب . تستخدم هذه الدائرة في تأخير الأشارة الكهربائية بزمن معين يمكن التحكم به كما سنرى ذلك أثناء شرح عمل هذه الدائرة . شكل (16–12) .



شكل (16–12)

دائرة متعددة الأهتزازات ذو وضع مستقر واحد

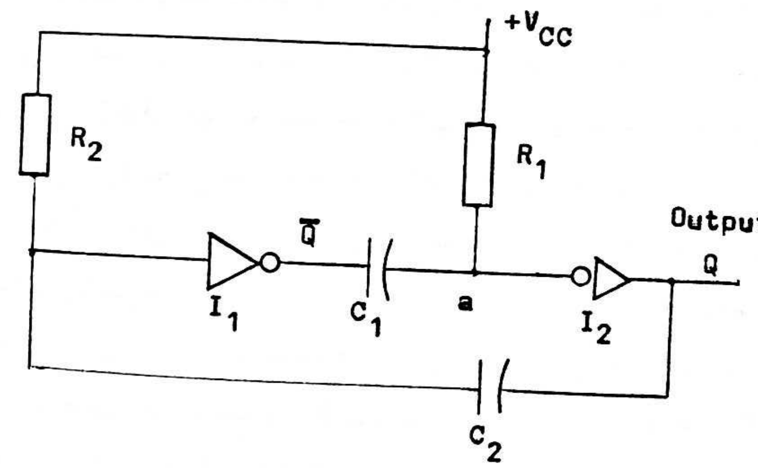
(Monostable Multivibrator, one - shot)

واضح من التسمية بأن مخرج هذه الدائرة له دائماً وضع مستقر معين وهذا الوضع هو Q=Logic 0 . عند مرور اشارة كهربية موجبة مربعة وذات عرض ضيق (اشارة إبرية) أي A=Logic 1 . وحيث أن مخرج الدائرة هو Q=Logic 0 وأن المخرج متصل مباشرة مع المدخل الثاني لدائرة المنطق NOR لهذا فإن مدخل NOR يحتوى الآن على Logic 1 ، Logic 0 وهذا سيعطينا عند مخرجها Logic 0 ، معنى هذا وفي اللحظة الأولى سيوصل المكثف النقطة (a) بالأرضى أي (Ground) هذا يعنى أنه عند مدخل دائرة المنطق G_2 يوجد Logic 0 والذى سيتحول عند مخرجها الى Logic 1 وحيث أن المخرج متصل مباشرة مع مدخل G_1 فعند زوال وانتهاء الاشارة الأبرية فإن مخرج الدائرة يبقى Q=Logic 1 طالما أن فرق الجهد الواقع على المكثف لم يصل الى حد معين وعلى هذا فإن عرض اشارة المخرج يمكن التحكم به عن طريق $\tau = RC$. بعد زمن مقداره (t) يكون المكثف (C) قد شحن الى جهد معين واصبحت النقطة (a) موجبة بالنسبة للأرضى وعلى هذا فإن دائرة المنطق (G_2) ستحول هذا الجهد عند مخرجها الى Logic 0. المكثف (C) سيفقد شحنته عندئذ عن طريق كل من (G_1 ، G_2) . تبقى هذه الدائرة على هذا الوضع طالما لم تصل عند المدخل (A) لدائرة المنطق (G_1) اشارة موجبة أي Logic 1 . للحصول على المزيد عن طريقة عمل هذه الدائرة وغيرها يمكن للطالب الرجوع الى كتاب دوائر المنطق الالكترونية والرقمية (1994) لمؤلف هذا الكتاب .

3) متذبذب ذو وضعين غير مستقرين (Astable Multivibrator)

من التسمية نلاحظ أن لمخرج هذه الدائرة لا يوجد وضع مستقر أي أنه متغير دائماً على سبيل المثال من Logic 1 الى Logic 0 أو العكس .

لفهم طريقة عمل هذه الدائرة المبينة في شكل (12–17) يمكن الرجوع الى كتاب دوائر المنطق الألكترونية والرقمية لمؤلف هذا الكتاب .



شكل (12–17)

الدائرة المنطقية لدائرة متعددة الأهتزازات أو ذو وضعين غير مستقرين (متذبذب)

(Astable Multivibrator)

تمارين على الباب الثانى عشر

12–1) ارسم دائرة المنطق AND بإستخدام ثلاثة صمامات ثنائية . واشرح طريقة عملها مع كتابة الجدول المنطقى لها .

12–2) ارسم دائـرة المنطـق OR باستخدام ثلاثـة صمامـات ثنائيـة وأشرح طريقـة عملها مع كتابة الجدول المنطقى لها .

12–3) ارسم دائرة تغيير المنطق (Inverter) وأخرى دائرة ابقاء المنطق مستخدماً ترنزيستور pnp واشرح طريقة عمل كل منهما .

12–4) **مستخدماً** دوائر المنطق NOR صمم دائرة منطق SR- لاتش ، واشرح طريقة عملها مع تدوين الجدول المنطقى لها .

12–5) مستخدماً دائرتى منطق NAND وكذلك دائرتى منطق NOR صمم دائـرة JK -فليب-فلوب واشرح طريقة العمل .

12–6) مستخدماً كلماتك الخاصة اشرح طريقة عمـل دائرة المتذبـذب ذى الوضع الواحد المستقر وكذلك دائرة المتذبذب ذى الوضعين غير المستقرين .